Grande Atlante di Architettura

Atlante del Legno

Natterer Herzog Volz

UTET

Grande Atlante di Architettura

//Grande Atlante di Architettura *si presenta come una completa enciclopedia delle costruzioni, divisa in volumi tematici.*

Ogni volume tratta in modo esauriente uno specifico tipo edilizio, o una parte dell'edificio. Gli argomenti sono sviluppati in ogni aspetto: teorìa costruttiva, suggerimenti compositivi, benessere climatico e ambientale, cenni storici, esempi di realizzazioni. Di grande utilità pratica sono I numerosissimi particolari, disegnati in scala con ricchezza di dettagli.

La trattazione è impostata seguendo le procedure della normativa tecnica tedesca. Poiché le norme DIN, pubblicate dal Deutschen Institut für Normung, sono considerate per precisione e sicurezza le migliori del mondo, e vengono utilizzate con profitto anche all'estero, si è ritenuto opportuno non discostarsi dall'impostazione originaria. Un'appendice al termine di ogni volume elenca le corrispondenti norme italiane.

Realizzati da specialisti tedeschi e svizzeri, i volumi del **Grande Atlante di Architettura** *sono pubblicati nell'edizione originale dall'editore della prestigiosa rivista "Detaìl".*

Volumi pubblicati:

Atlante del **Cemento**

Atlante del **Legno**

Atlante della **Muratura**

Atlante dei **Tetti**

Atlante delle **Terrazze**

Di prossimaa pubblicazione:

Atlante del **Vetro**

Atlante dell' **Acciaio**

Atlante del Legno

Julius Natterer Thomas Herzog Michael Volz

UTET

Titolo originale
Holzbau Atlas Zwei

Autori
Julius Natterer (parti 3, 4)
Thomas Herzog (parti 1,2,5)
MichaelVolz(parti2,5)

Collaboratori
Efrain Alonso Marbàn, Markus Becker, Roland Czernawski, Michael Flach, Elisabeth Kròhn, Burkhardt Niepelt, Ronald Faust, Hansi Hommel, Ute Meierhòfer, Konrad Merz, Martin Pampus, Anton Pittlinger, Thomas Portmann, Katrin Zwerch, Gerolf Geisler, Jùrgen Graser, Christiane Niepelt, Claudia Ostermeier, Olivìer Schmìdt, Claudia SchùBIer-Volz, un gruppo di studenti di Biel

Traduzione di
Rosella Margaroli

Consulente tecnico per la traduzione
Marco Della Torre

Normativa italiana a cura di
Alberto Galeotto

corso Raffaello, 28 -10125 Torino

Sito Internet Utet: www.utetcom
e-mail: utet@utet.com

Redazione: Studio Parole srl - Milano
Stampa: Fotocromo Emiliana - Osteria Grande (BO)

ISBN 88-02-05370-7

I disegni sono stati realizzati tenendo conto delle conoscenze attuali derivanti dall'insegnamento e dalla ricerca e il contenuto è stato redatto utilizzando unità di elaborazione dati presso l'Istituto per le costruzioni in legno del Politecnico federale di Losanna e presso l'Istituto di progettazione e tecnica degli edifici del Politecnico di Darmstadt. L'editore e gli autori desiderano quindi ringraziare in modo particolare entrambi i Politecnici per la preziosa collaborazione.

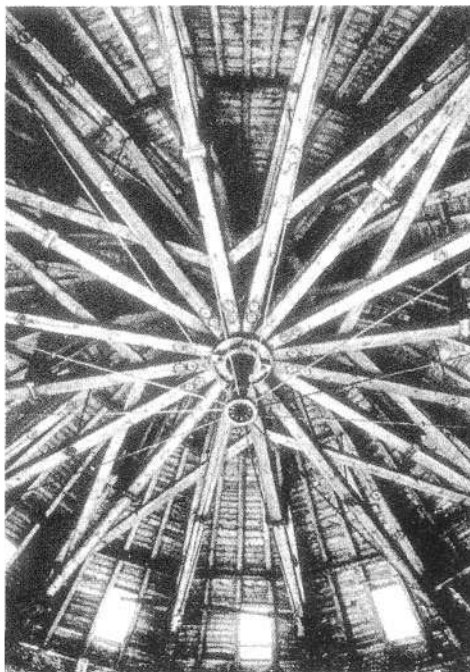
L'editore e gli autori ringraziano inoltre le seguenti persone per la revisione dei manoscritti: il dottor Barghoorn della Verband der deutschen Holzwerkstoffindustrie, il dottor Henn, il professor Mòhler, il dottor Sell dell'Eidgenössischen Materialprufungs- und Versuchsanstalt, il professor Steck e il professor Steìger.

Infine l'editore e gli autori ringraziano in modo particolare il professor Roland Schweitzer di Parigi, per le preziose indicazioni e per il materiale fotografico che si è rivelato estremamente utile.

Sommario

Introduzione

Dalla prima edizione tedesca dell'*Atlante del legno* sono trascorsi vent'anni. Da allora il legno e i suoi derivati sono stati impiegati con sempre maggior frequenza, non soltanto per le costruzioni di tetti e padiglioni, ma anche per edifici pubblici e privati. Committenti e architetti apprezzano il legno soprattutto per le sue ottime e utili proprietà; l'uomo ha imparato molto in materia di problematiche ambientali e oggi accoglie con particolare favore l'impiego che viene fatto di questo materiale e a questa predisposizione ha contribuito anche la realizzazione, ben riuscita da un punto di vista architettonico e strutturale, di tutta una serie di strutture in legno. Gli elementi strutturali in legno lasciati a vista sono particolarmente gradevoli, e le costruzioni del passato si fanno apprezzare per sicurezza e funzionalità.

Anche in futuro, gli architetti e gli ingegneri edili progetteranno ed eseguiranno in misura sempre crescente opere con strutture portanti in legno che non si limiteranno alle semplici ossature impiegate nelle normali costruzioni di tetti e padiglioni. È un campo in cui potranno trovare ampio spazio il lavoro di progettazione e disegno. Questo volume riserva una parte dettagliata a tale argomento, enunciando i principi che consentono di progettare costruzioni soddisfacenti dal punto di vista formale senza aumentare a dismisura costi e tempi di realizzazione. Soluzioni ottimali sono raggiungibili anche in edifici complessi, nei quali per giungere a una decisione, occorre prendere in considerazione tutta una serie di proposte che si basano su fondamenti pratici.
Dopo aver illustrato i fondamenti della costruzione in legno, il presente volume fornisce un aiuto prezioso grazie alla varietà proposta di forme, tipi di collegamento e tecniche di assemblaggio e numerosi esempi di sistemi di appoggio e strutture portanti. Oltre a edifici per abitazione e pubblici, l'opera presenta progetti di padiglioni, torri e ponti. Tutti questi esempi non erano presenti nell'edizione pubblicata per la prima volta nel 1978.

Architettura industriale: struttura portante a copertura di una caldaia a gas.

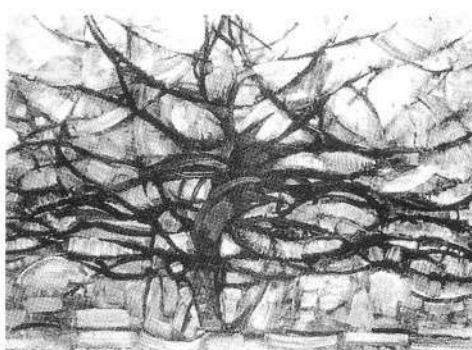
La parte dedicata alle facciate contiene esempi preziosi per la realizzazione di pareti esterne in legno o suoi derivati: protezione dal calore e dall'umidità svolgono qui un ruolo particolarmente importante, poiché un impiego adeguato del materiale impedisce agli agenti atmosferici di compromettere la funzionalità della parete esterna.
L'opera suggerisce numerose possibilità per le costruzioni in legno. Essa contribuirà alla diffusione di nuove soluzioni nelle opere edilizie, consentendo ad architetti e ingegneri una proficua collaborazione.

Karl Möhler

Il legno nella nostra vita

Nel giardino si erge un larice imponente. I suoi rami più bassi, ad altezza d'uomo, si allargano fino a otto metri, incurvandosi un po' verso terra e risollevandosi leggermente verso le punte. Oscillano al vento, si flettono sotto la neve per riprendere la loro posizione naturale carichi di fiori rossi in primavera e di piccole pigne in autunno.
I rami si mantengono orizzontali, con il gelo più rigido, sotto il sole cocente, giorno e notte, anno dopo anno. Da dove traggono la loro forza? Quale legge ne regola la vita? Nessuno è mai riuscito a dare una risposta soddisfacente a queste domande. Possiamo solo affermare che quella legge, valida tanto nel microcosmo quanto nel macrocosmo, regola anche la nostra vita, rendendosi particolarmente visibile nei rami d'una pianta. Dunque, non stiamo parlando di un semplice materiale, ma di un vero e proprio organismo: il legno.

Quando parliamo del legno, quando trattiamo il legno, dobbiamo conoscere e riconoscere le sue proprietà; ci dobbiamo ricordare dell'albero vivo. Oggi l'albero si cela quasi alla vista dell'uomo di città. Chi è ancora in grado di distinguere dalla sagoma una quercia da un frassino, un tiglio da un acero? La crescita lenta, l'iniziale delicatezza, poi la florida chioma e il robusto tronco: chi ha ancora l'occasione di poterli osservare direttamente? Quanti ancora hanno visto o conoscono le lavorazioni del legno: abbattimento, fluitazione, scortecciatura, segatura e stagionatura all'aperto? Oggi riserviamo un'attenzione diversa alle piante in generale considerandone gli aspetti patologici, la sconsiderata distruzione per ampliare le zone coltivabili, per sfruttare industrialmente legno pregiato, e il rischio di estinzione.

Il legame tra uomo e albero risale alla notte dei tempi e si intreccia con aspetti magici, con il mito e con aspetti più razionali, giungendo ai nostri tempi. Gli alberi sono gli archetipi dell'umanità. Nelle *Upanishad* sta scritto: "All'albero... èuguale l'uomo". E forse, nel subconscio, noi avvertiamo "questo sei tu". Il mito esprime questa verità. Esso ci racconta della grande madre paragonata all'albero, che fornisce nutrimento alle anime. La figura dell'albero, ben radicata nella terra che lo alimenta e che si innalza verso il cielo, verso la luce, da sempre commuove l'umanità. Nell'antico Oriente lo si trova al centro del Paradiso come

Piet Mondrian (1872-1944): *Albero* (1911).

albero della vita e come albero della conoscenza, come albero del destino dell'uomo.
Nella mitologia greca gli uomini diventano alberi e gli alberi uomini. Quando Orfeo suonava, gli alberi gli si avvicinavano per ascoltarlo e fargli ombra.
Le vite di Laotse e di Buddha furono strettamente legate all'albero. Dominante su tutto, il frassino di Yggdrasil determina la concezione mitica del mondo dell'Edda. I celti vedevano una stretta relazione tra la posizione delle stelle alla nascita di un uomo e determinate proprietà dell'albero, quindi un legame astrologico fra uomo e costellazioni nell'albero. In molte culture l'albero era ritenuto sacro, in quanto dimora degli dèi. Abbattendo la quercia di Donar presso Geismar, san Bonifacio abbatté una divinità che riteneva falsa.

L'unione cosmica dell'albero con il nostro destino di uomini dà alla massima di Lutero il suo significato profondo: "Anche se sapessi che domani il mondo andrà a fondo, oggi pianterei comunque un altro albero". Nella cristianità si è conservata la sacralità dell'albero e si è mantenuta viva la tradizione dell'albero della vita: come albero di Natale, portatore della luce, come albero della cuccagna, come albero delie nozze e come albero posto sul tetto per festeggiarne l'ultimazione - tutti segni della forza vitale -, come albero della croce, segno della salvezza, della resurrezione.

C.G. Jung si è occupato diffusamente del simbolismo dell'albero nell'alchimia. Egli vedeva nella crescita dell'albero una similitudine con il processo di sviluppo della persona. Secondo Jung i'albero è il modello fondamentale della nostra vita, che, per certi aspetti, trova espressione nel disegno dell'albero genealogico.

Molti nomi di luoghi, di strade e di famiglie fanno riferimento all'albero e anche molte locuzioni derivano dal legno: "albero genealogico", "avere un ramo di pazzia" e altre ancora.

Nelle arti figurative di tutte le culture vengono evocati l'albero e il suo legame con l'uomo: negli ornamenti dei tappeti orientali, nelle maioliche anatoliche, nelle miniature orientali ma anche da Hieronymus Bosch, Rembrandt, Munch, van Gogh, Klee, Schiele, Max Ernst, Hundertwassere Beuys. Mondrian merita una citazione a parte. In tutta la sua opera l'albero costituisce il tema principale. Era così colpito da quanto di inquietante e misterioso c'è nell'albero che ne aveva timore, lo evitava. D'altra parte, egli doveva sempre ritornarvi, per assoggettarlo alle sue leggi, fino a ridurlo a struttura geometrica dall'inquietante tensione.

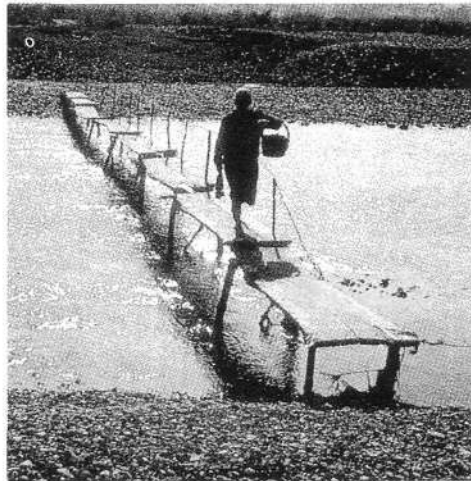
Gli alberi dei viali delle nostre città non ci incutono più timore, al massimo ci fanno una certa pena. Quando però apprendiamo quali mitiche età e quali dimensioni leggendarie raggiungano gli alberi, riusciamo a comprendere Mondrian. Basterebbe anche solo pensare a quanto occorre a un albero per trasformarsi da seme in esemplare adulto: talvolta un secolo. Nella Sierra Nevada, in California, le sequoie raggiungono i 122 m di altezza, un diametro fino a 10 m e un'età di 3600 anni. *Pinus aristata* impiega 4600 anni per raggiungere un'altezza di 15 m. Il cipresso di Montezuma può arrivare a 15 m di diametro, e quindi avere una circonferenza di circa 49 m. L'albero, a noi così affine, secondo alcuni autori ha influssi sul nostro animo. "Chi per tutta la vita fosse circondato da maestose querce" affermava Goethe "dovrebbe essere una persona diversa da quella che ogni giorno si sofferma sotto ariose betulle". La specie di albero ha infatti una corrispondenza con l'anima collettiva degli abitanti di un luogo. Alcuni paesi sono caratterizzati e conosciuti non solo per le loro culture e i loro tipi umani, ma anche per gli alberi: la regione mediterranea per l'ulivo, l'Asia orientale per il pino, mentre in altri domina la palma. Anche le città ricevono dagli alberi il loro influsso, come avviene a Parigi con i platani.

Dopo aver illustrato gli aspetti culturali del legno, occupiamoci ora della sua lavorazione e del suo impiego. Quali vantaggi ci garantisce, come sappiamo trattare questo materiale? Il suo impiego

è diretta conseguenza delle sue proprietà, note in generale fin dall'antichità, anche se spesso non ne siamo pienamente consapevoli. Negli ultimi secoli le proprietà fisiche e meccaniche del legno sono state documentate con precisi valori numerici grazie a un vasto lavoro di ricerca e sviluppo. I valori fondamentali per la nostra psiche sono lasciati alla nostra memoria. Essi non vanno misurati e dimostrati con procedimenti matematici, bensì vengono sentiti, vissuti.
Tutte le proprietà del legno corrispondono alle molteplici proprietà dell'albero. Il legno racchiude in sé una profluvie di vita. Secondo A. Portmann il massimo segno maggiormente caratteristico della vitalità è l'autorappresentazione. Era il "form follows function" di Sullivan rovesciato in "function follows form". Con riferimento al legno, significa che non dobbiamo considerarlo e utilizzarlo come un materiale qualsiasi, bensì un elemento dal quale possiamo ricavare molti vantaggi, se sapremo adattarci alle modalità che ne regolano lo sviluppo.

Chiang-Tse, nel I secolo a.C, racconta di un supporto di campana che veniva ammirato come opera divina poiché l'intagliatore aveva scrupolosamente seguito la legge della sua crescita naturale. Nel legno molte sono le analogie con l'uomo. La sua viva venatura, che ne testimonia ia crescita, rappresenta la struttura della legge che regola anche la nostra vita.
A questo miracolo di arte grafica si aggiunge il colore: il giallo miele dell'abete, il grigio pietra della quercia, fino al nero ramato della quercia castagnola, al rosso chiaro del ciliegio, al. bianco eburneo del pero, al nero vellutato dell'ebano...

E dopo la vista, il tatto, La mano è forse l'organo di senso più affidabile. "Spesso le mani e la punta delle dita vedono più degli occhi" affermava Kokoschka. Noi conosciamo le sensazioni contrastanti procurate dal tatto. Preferiamo toccare il legno piuttosto che il freddo acciaio, l'inerte cemento, il ruvido mattone, la liscia piastrella. Il legno è morbido, doice e caldo. Nell'oracolo più antico, il *Libro dei mutamenti, I Ching,* l'ideogramma per soavità e quello per legno sono uguali. Grazie al suo elevato contenuto di aria, capillarmente distribuito, il legno non sottrae il nostro calore corporeo, lo riflette.
Rispetto agli altri materiali per l'edilizia, il legno presenta una conducibilità termica molto bassa. Se le pareti hanno uno spessore ridotto, soltanto con la costruzione in legno è possibile evitare che il freddo penetri all'interno.

In conseguenza alla bassa conducibilità termica, il legno ha la capacità di "respirare", di assorbire l'umidità e di cederla nuovamente. È per questo motivo che oggi si è ritornati a rivestire di legno i locali da bagno e non solo le saune. Se in una stanza rivestita di legno ci sentiamo bene, ciò è dovuto, tra l'altro, anche all'atmosfera piacevole, intesa tanto in senso letterale, quanto fisico e fi-3_'a:c.

Dopo la vista, il tatto e le relative sensazioni viene l'olfatto. Noi apprezziamo la gradevolezza del profumo di una stanza in legno di pino che non sia stato snaturato dall'impiego di sostanze protettive, quello di una tavola segata, di una falegnameria, di un armadio di *Pinus excelsa* che per generazioni è stato immune dai tarli.
Un'altra preziosa proprietà del legno è l'elasticità, dalla quale dipende l'acustica. Chi ha lavorato come carpentiere alla preparazione e al montaggio dell'ossatura di un tetto, non dimenticherà il suono chiaro e rimbombante del legno. Grazie alla sua capacità di vibrare, il legno risponde ai nostri passi, alla nostra voce, alla nostra musica. Attraverso una fine lavorazione, il legno conferisce una risonanza particolare, che nessun altro materiale è in grado di garantire; gli strumenti musicali ne costituiscono una prova inconfutabile: la chitarra, lo xilofono, le grandi canne di un organo, il tamburo, la cetra, ii salterio tedesco, sono tutti di legno.
Il violino è un esempio delle molteplici proprietà dei diversi tipi di legno: la sua tavola armonica è di abete rosso, il fondo e le fasce di acero, cavigliere e cavicchio di ebano; il ponticello è di faggio e l'archetto di salice. Nessun altro materiale consente di ottenere una tale varietà di suoni. Si è cercato di eguagliarne, senza successo, ì risultati con metalli nobili e con la plastica.
Il solaio oscillante in legno, appeso alla struttura del tetto, e il pavimento in legno, appoggiato puntualmente, sono il segreto della leggendaria acustica della ex sala da concerti Odeon di Monaco, La sala da concerti di Goteborg è nel complesso strutturata come uno strumento musicale, senza l'aggressiva conformazione del soffitto acustico oggi comunemente adottata.

Il legno può essere dipinto (con vernice trasparente o coprente), laccato e dorato.
Di fondamentale importanza è la sua durata. Se installato in modo corretto, vale a dire in ambiente asciutto e ventilato, il legno è pressoché indistruttibile. Nel DieBener Dachstuhl del 1630, che ho restaurato adibendolo a sala, dopo ben 370 anni il legno - pino e quercia - era ancora intatto - ad eccezione dei supporti murati che non potevano essere aerati. Usando una resina epossidica, essi sono stati restaurati senza particolari difficoltà. Sono stati inoltre ripuliti dalle infestazioni di tarli non con prodotti chimici, ma con aria calda e vapore.

In Giappone si trova un tempio in legno che è stato costruito attorno al 900 a.C. L'ultima opera del carpentiere svizzero Grubenmann - una pietra miliare nella storia delle costruzioni in legno - è un ponte per pedoni e veicoli leggeri con luce di 30 m che risale al 1780 e viene utilizzato ancora oggi.

Il peso ridotto del legno è una proprietà utilissima sia nella costruzione dei mobili sia in quella degli edifici. Con il 20% di umidità, il peso specifico apparente

del legno di conifera è	600 kg/m^3
del cemento armato, 4 volte superiore, è	2500 kg/m^3
dell'acciaio, oltre 10 volte superiore, è	7800 kg/m^3.

Rispetto al legno, l'acciaio non trattato è più esposto ai danni del fuoco, poiché per sezioni superiori a una certa misura il legno ha un comportamento prevedibile in caso di incendio.

Il legno è presente in tutti I momenti della nostra vita sotto forma di oggetti vari: pettini, piatti, pipe, scatole, sci, slitte, traversine ferroviarie, navi, strumenti musicali, mobili, giocattoli, botti. Nel costruire o ampliare la nostra casa lo impieghiamo per le fondazioni, per le casseforme per il calcestruzzo. Anche la culla, la bara e la croce sulla tomba sono in legno,

Un tempo l'azione di accendere il fuoco era molto importante, e la fabbricazione della carta svolge ora come allora un ruolo di primo piano.

Il mobile potrebbe costituire un capitolo a parte. Per fabbricarlo si sfruttano a pieno le proprietà del legno: il colore, la venatura, il peso ridotto, la facilità di lavorazione e la flessibilità, soprattutto presso gli scandinavi, i finlandesi, gli inglesi, i giapponesi. Le infinite varianti della sedia, il piacere dell'ornamento nei modelli curvati di Thonet, la forza espressiva di uno scaffale di Shaker, la bellezza sobria di un tavolo inglese in mogano con pannelli ribaltabili, ognuno di larghezza pari a 56 cm, sotto forma di asse spessa 1,8 cm, senza listelli; si potrebbe pensare che tutto questo abbia dei miracoloso. Adolf Loos dice: "Il materiale nobile è un miracolo di Dio".

Su tutto però prevaie ia fase di costruzione. Già nel Vecchio Testamento è riportata una descrizione concreta: una nave, lunga 300 cubiti, larga 50, alta 30, ovvero 150 x 25 x 15 m. Questa è l'arca di Noè. Nell'epopea di Gilgamesch la nave è un cubo di legno di 120 cubiti, il cui lato è quindi 60 m, suddivisa internamente in sette piani, "collegata con graffe, spalmata di pece all'interno e

all'esterno". Dopo essere stata cacciata dal paradiso, l'umanità è sopravvissuta alla sua seconda catastrofe in una costruzione di legno, in balia dell'infinito.
Anche la costruzione del tempio e del palazzo di Salomone ci è stata tramandata con precisione. Il procedimento a quei tempi era uguaie a quello normalmente usato fino a 50 anni fa. Solo che i tronchi venivano levigati con l'accetta. Nell'O-*dissea* molte sono le occasioni in cui si parla del legno, soprattutto quando si racconta della costruzione della zattera e della nave. Quando la ninfa Calipso lascia finalmente partire Ulisse, egli abbatte venti tronchi, "li congiunge, levigati con l'accetta secondo la regola, a formare una zattera, tenuta insieme da chiodi di ferro e graffe; da entrambi i lati trecce di salice". Questa descrizione contiene tutta la magia dell'intesa tra uomo e natura, di cui ancor oggi il legno conserva più d'una reminiscenza.
Accanto al tempio di Salomone si può porre la costruzione di una piccola capanna di legno nel Massachusetts, come viene descritta da Thoreau nel suo diario *Walden, o la vita nei boschi,*

Frank Lloyd Wright ha volentieri sottolineato il fatto che egli non abbia tratto un insegnamento vero e proprio da nessuna scuola, ma da un giocattolo di legno. Sicuramente non intendeva riferirsi soltanto ai semplici cubi di legno con la loro naturale vivacità e il loro stimolo alla creatività, ma, attraverso l'esempio concreto, anche all'albero e al numinoso che in esso si cela, come Suppan lo intravede nel tamburo.
Ancora verso la fine del secolo, presso di noi - a differenza del Giappone - gravava sulla costruzione in legno per abitazioni, chiese e bagni, l'"odio" che si poteva nutrire verso una baracca. Per adempiere alle funzioni di rappresentanza, l'alta borghesia prediligeva la costruzione in mattoni intonacata, o la costruzione in pietra, con gli ornamenti e Parte del costruire", più tardi il cemento, rivestito. La paura della semplicità totale, come la paura del vuoto, caratterizza ancora oggi alcuni progetti.

La costruzione in legno richiede una disposizione sobria e sistematica della struttura statica sin dall'inizio, fino al particolare. Il trattamento del particolare fino alla scala 1:1 ne è la premessa. Alla scala 1:50 subentra perciò la scala 1:20. La logica delle strutture statiche, la posizione degli elementi nelle intercapedini rispetto a quelli del rivestimento portano a disciplinare il progetto, a semplificarlo e quindi a risparmiare sui costi. La possibilità di un parziale "fai da te" è un fattore essenziale.

Nonostante la sue possibilità di impiego straordinariamente molteplici e la sua capacità di conservarsi per millenni, il legno per un certo periodo è stato trascurato dal nuovo che avanzava. La fede nel progresso, i'alienazìone daila natura, dall'albero, l'indifferenza verso i bisogni psichici, che ad esempio non erano mai stati inclusi nel con-

cetto di funzionalità, e un'industrializzazione fraintesa hanno fatto sì che cemento, acciaio e plastica venissero impiegati anche laddove il legno sarebbe stato molto più adatto.

Gli architetti e gli ingegneri non hanno però potuto fare a meno del legno per lungo tempo. Oggi siamo nuovamente consapevoli delle sue eccezionali proprietà. Il vasto lavoro di ricerca e sviluppo, in particolare negli ultimi trent'anni, ha fatto sì che il legno ritornasse a essere un elemento fondamentale nell'edilizia. Ma non si deve arrivare all'irrigidimento ideologico del "tutto legno". La combinazione di legno e metallo ha, ad esempio, una lunga tradizione: la ruota del carro, il carro a rastrelliera, la botte, la finestra con falsi spigoli.

Il passaggio dalla costruzione in legno convenzionale a quella moderna, che prevede anche l'impiego dell'acciaio, è contraddistinto dall'integrazione dei valori sperimentali con metodi di calcolo affidabili e con nuovi sistemi statistici.
Grazie ai risultati della ricerca, è stato possibile standardizzare in gran parte le esigenze di qualità. Standardizzazione e certificati di collaudo consentono di strutturare il controllo della qualità e di garantire costruzioni in iegno perfette anche con giunzioni complesse.
Il legno abitua alla semplicità, alla chiarezza. Il legno squadrato come anche l'asse vengono ancora oggi utilizzati nelle costruzioni civili e, come sempre è successo, nell'artigianato. Con l'impiego dell'acciaio, da alcuni decenni vengono usate nuove tecniche di collegamento. Vengono ancora realizzate giunzioni di tipo artigianale e tradizionale con tenone, caviglia, giunto a dentatura, oltre a quelle con perni filettati, chiodi e viti. Le giunzioni chiodate sono state migliorate ricorrendo a piastre chiodate e a piastre nodali per giunzioni in direzioni diverse. La piastra chiodata consente un combaciamento di testa del legno in modo da non indebolire le sezioni ed evitare intagli complicati.

Con il legno collegato all'acciaio, il progettista ha solitamente maggiore libertà di azione di quanto non avvenga con i'acciaio o il cemento armato. I nuovi giunti incollati, in particolare quelli a coda di rondine, consentono la realizzazione di travi in legno lamellare, dritte e ricurve. Oltre a queste vanno citati anche: travi ad anima ondulata, travi con anima a pannelli ed elementi a pannelli. Neila costruzione in legno si può quindi soddisfare ogni esigenza, compresa quella della riduzione dei costi. La costruzione in pannelli di legno ha reso possibile soddisfare concretamente questa esigenza, soprattutto con il "fai da te". Nel contempo, le possibilità di configurazione si sono notevolmente diversificate. I tetti a struttura sospesa e a volta possono risultare immediatamente accettabili come costruzioni naturali proprio in virtù del loro principio costruttivo. Insieme a essi vanno considerati: legno compensato, legno di particelle, pannelli in fibre di legno, paniforti.

Per le costruzioni in legno di dimensioni e peso ragguardevoli è raccomandata la collaborazione di specialisti. Ci permettiamo solo un accenno alla protezione del legno. Il miglior modo di attuarla è quello di lavorarlo opportunamente. Una segatura e una stagionatura a regola d'arte, quest'ultima quanto più lenta possibile, e, soprattutto, un'installazione sensata sono fondamentali per una "protezione strutturale del legno". Il legno non deve bagnarsi, non deve essere collocato in luoghi umidi e deve essere ben ventilato. Per ottenere queste condizioni è assolutamente necessario mantenere una certa distanza del legno dal suolo, sia che si tratti di pilastri, di appoggi o di coperture.

Siamo figli dell'era industriale, non ancora esaurita, per quanto si intraweda l'inizio di una nuova consapevolezza. Il progresso, lafunzionaiità meccanica, la precisione, la macchina determinano la nostra vita. Ormai non possiamo più fare a meno della precisione dimensionale che, anche nella costruzione in legno, è stata raggiunta da lungo tempo. Nel frattempo, forse proprio quando era il momento giusto, ci siamo resi conto che non possiamo escludere dalla nostra vita la presenza di ciò che è naturale, organico. È per questo che non possiamo rinunciare al legno.

Josef Wiedemann

Parte 1 • Legno e costruzioni in legno

Thomas Herzog

Tavola 1

1 *San Matteo di Raisio* (Maestro di Lieto), alto 125 cm, 1340 circa
2, 3 Intarsi degli stalli del coro del duomo di Bergamo

Nelle pagine seguenti è riprodotta una serie di oggetti, arnesi, costruzioni ed edifici in legno scelti dall'autore tra i molti creati per testimoniare i tanti e diversi modi in cui questo materiale può trovare un impiego opportuno. Intreccio e struttura, flessibilità e tensione sono riscontrabili nei particolari di questi prodotti.

Le superfici sono lisce o ricurve, suddivise in due o più elementi, con strutture finemente definite o grandiose. Sono poste a confronto realizzazioni puramente figurative, come la scultura del cavaliere o la superficie riccamente intarsiata, vere e proprie opere d'arte, e oggetti di elevata funzionalità, caratterizzati da grande pregnanza figurativa e originalità.

La torre della radio, dalla forma elegante e leggera, contrasta con il piccolo coltello che sembra avvolto nel fodero in radica morbidamente arrotondato, maneggevole e finemente disegnato.

Gli oggetti assumono un particolare interesse quando le loro forme concavo-convesse possono diventare un tutt'uno con la mano, il braccio, la spalla, come avviene per il bracciolo, il giogo, il fucile.

Funzione e aspetto tecnico a loro volta producono un altro stimolo figurativo, quando angoli, passaggi e collegamenti diventano particolari essenziali per la distribuzione e il rinvio delle forze e. come luoghi di massima concentrazione, si trasformano in una sorta di codici che schiudono la comprensione delle regole di costruzione.

Gli oggetti si contraddistinguono per la loro ben collaudata funzionalità. La qualità plastica conferisce loro una vita propria. Accanto ad essi ritroviamo le forme decorative di architetture che come espressione di valentia artigianale hanno una loro tradizione soprattutto nell'Europa settentrionale e sudorientale e che, sull'onda di una ritrovata armonia con l'ambiente naturale, oggi sono nuovamente presenti in Ungheria.

Oggetti d'uso comune, mobili e strumenti in legno, grazie soprattutto alla loro malleabilità e al piacevole contatto, valorizzano le caratteristiche tipiche del materiale con cui sono stati realizzati.

Robustezza ed eleganza, qualità fisiche e proprietà ergonomiche dell'oggetto, invecchiamento caratteristico del materiale organico sono proprietà che integrano in modo ideale regole e principi geometrico-architettonici, dalla classica e insuperabile perfezione di villa Katsura a Kyoto fino alle possibilità del "fai date", e che in alcuni casi riescono a trasformare l'incontro con il legno in un evento pieno di fascino e nel contempo familiare.

Il settore delle costruzioni, oggetto precipuo di questo libro, è qui presentato in modo tale da rendere visibili le forme specifiche dei materiali, al fine di stimolare nuove ideazioni progettuali e strutturali che possano incidere sulla concreta realizzazione di opere in legno.

1
2 3

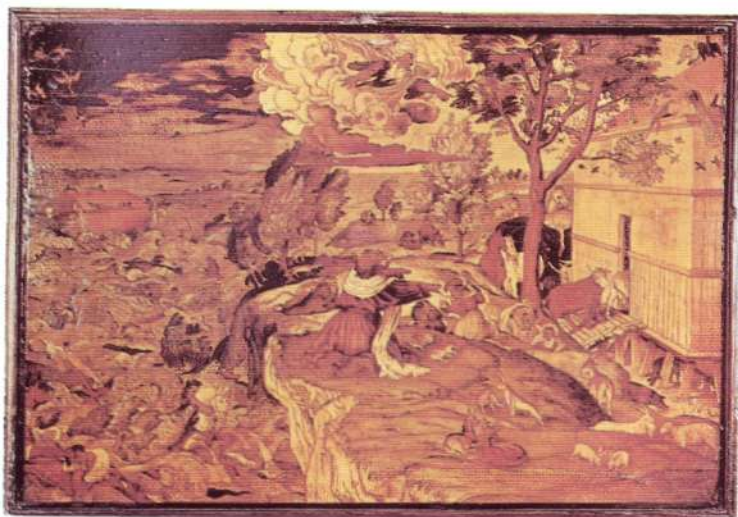



Tavola 2

1 Giogo, largo 88 cm, Finlandia
2 Arma da competizione,
118 x 7,4 cm, Finlandia, 1959
3 Coltello tascabile, 1 cm
(Design Johannes Luri), dopo il 1950
4 Scatola per fazzoletti
15,5x38x20,5, XIX secolo
5 Cassettiera
135x67x34cm
(Design Tapio Wirkkala), 1981

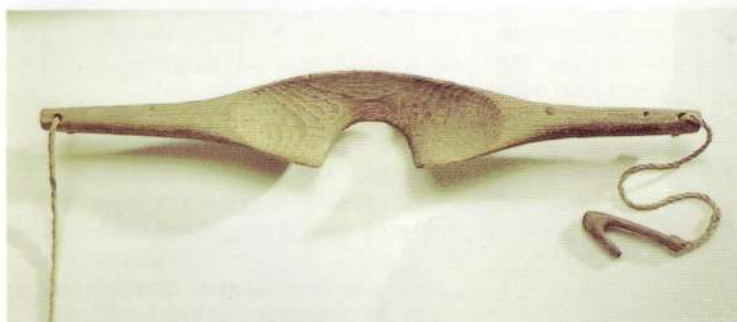
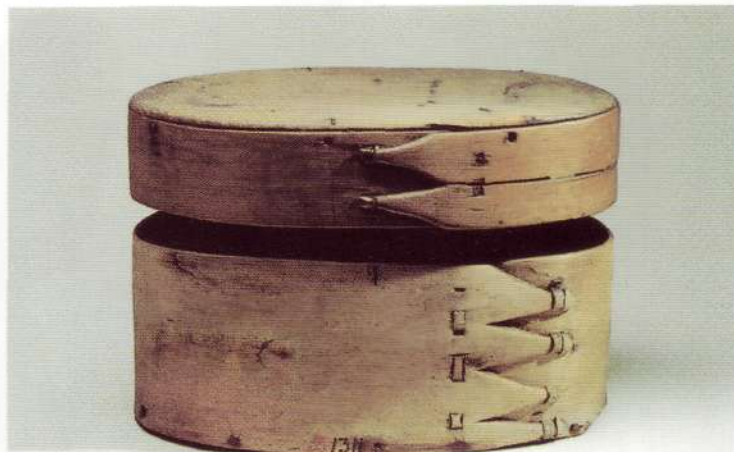
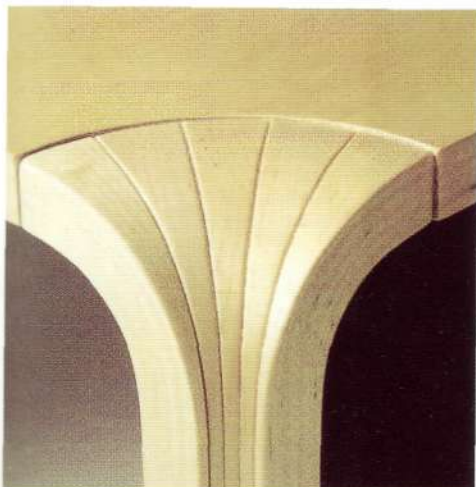
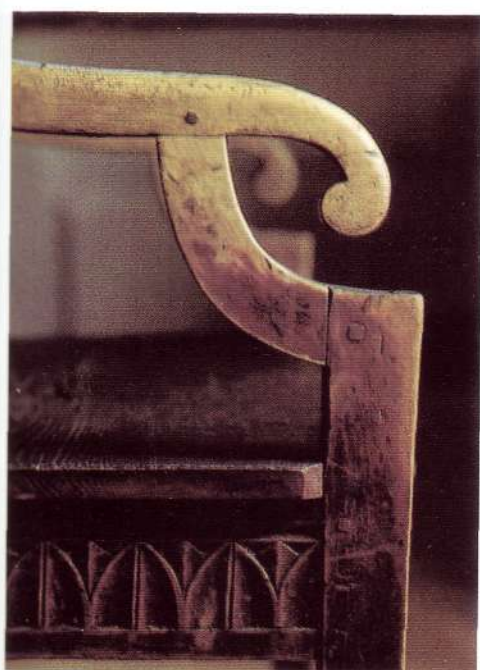



Tavola 3

1 Angolo di uno sgabello
(Design AlvarAalto), 1954
2 "Rocking chair"
Dettaglio del bracciolo, XIX secolo
3 Sedia con braccioli
(Design Josef Hoffmann),
1905
4 Sedia con braccioli
(Design Richard Riemerschmid),
1899-1900

1
2 | 4
3 | 5

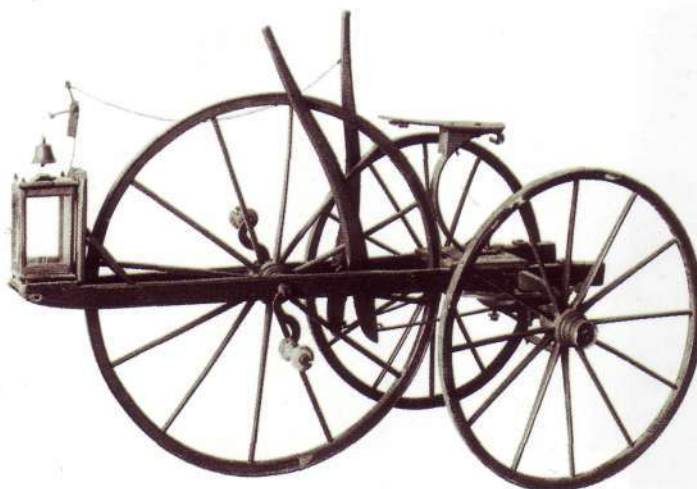
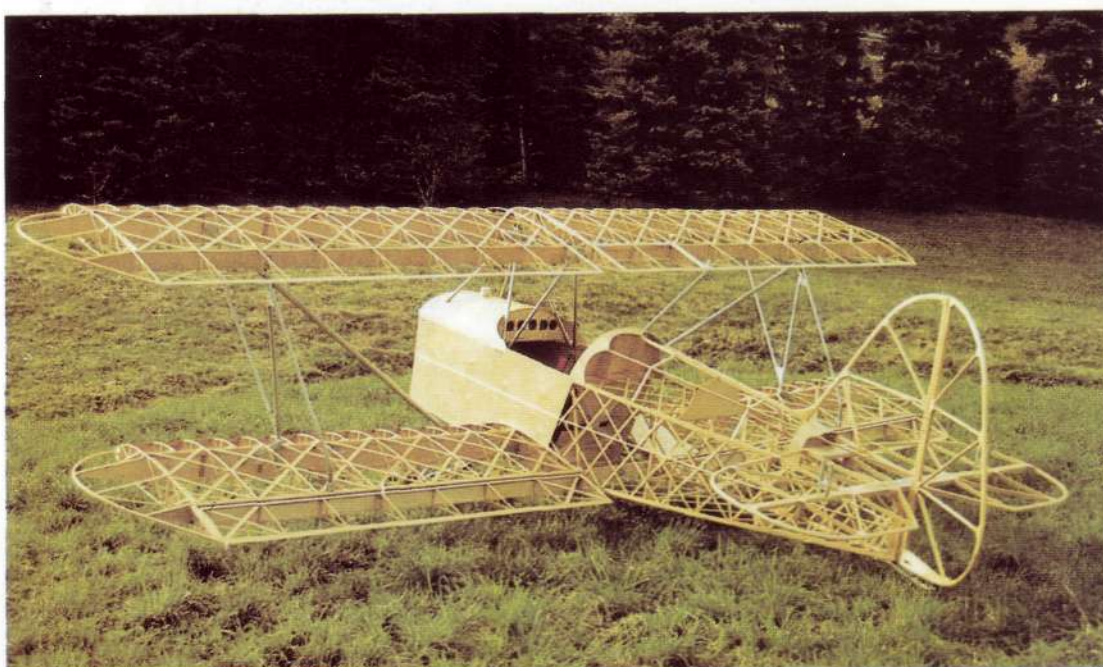
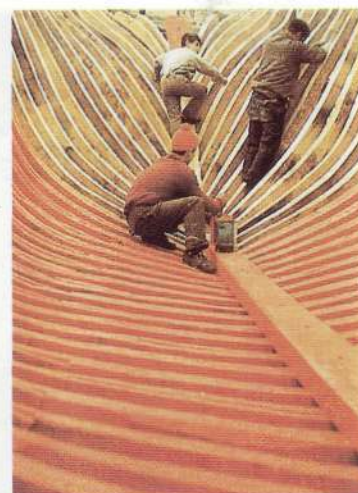



Tavola 4

1 Triciclo con comando a pedale e sterzo sull'asse posteriore, 1869
2 Slitta per cani (Design Risto Kamunen), 1982
3 Set dì montaggio per piccolo velivolo a motore
4 Fasciame di una imbarcazione in legno
5 Veliero *Victory,* Portsmouth

Tavola 5

1 Mulino a vento presso Copenaghen, XIX secolo
2 Struttura per l'essiccazione del fieno al coperto a Stübing, Carinzia
3 Ombrello ricoperto di carta oleata, Giappone
4 Mulino a vento, Askainen, alto 21,15 m

1 | 2 | 3
4

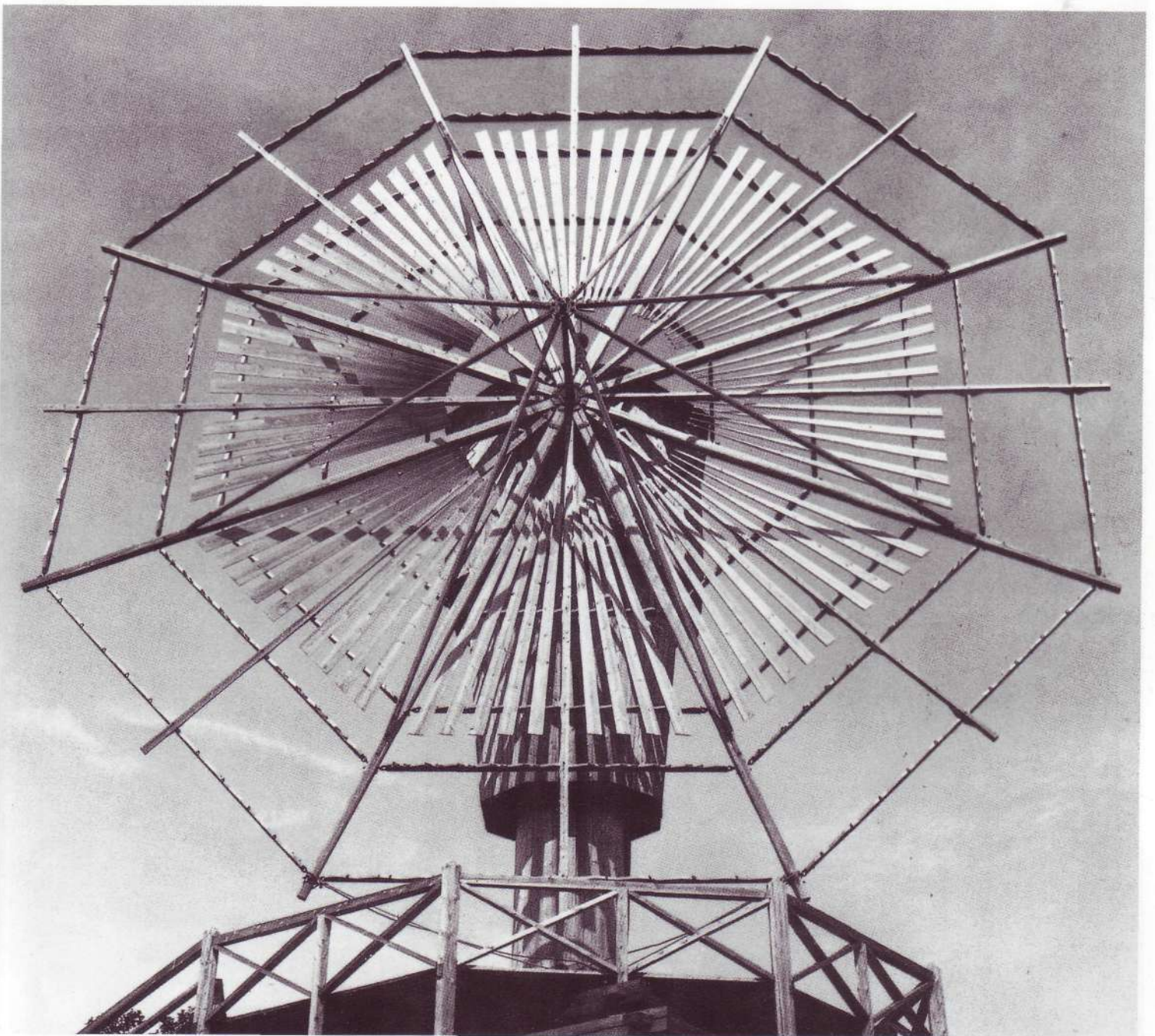
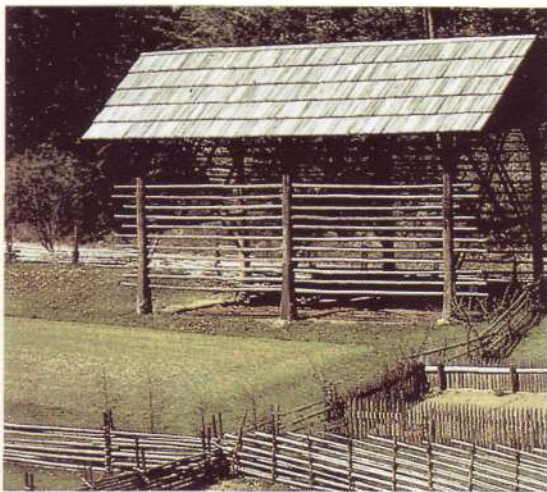



Tavola 6

1 Ponte sul Brenta a Bassano del Grappa (architetto Andrea Palladio), 1569
2, 3, 5 Ponte a Kintai-Bashi, Giappone meridionale, 1673
4 Ponte pi-esso Bulle, Svizzera

Tavola 7

1 Ponte sulla Simme, Svizzera (ingegnere Julius Natterer), 1989
2, 3 Torre della radio a Erdinger Moos, Alta Baviera, 1932-83

1
2 | 3

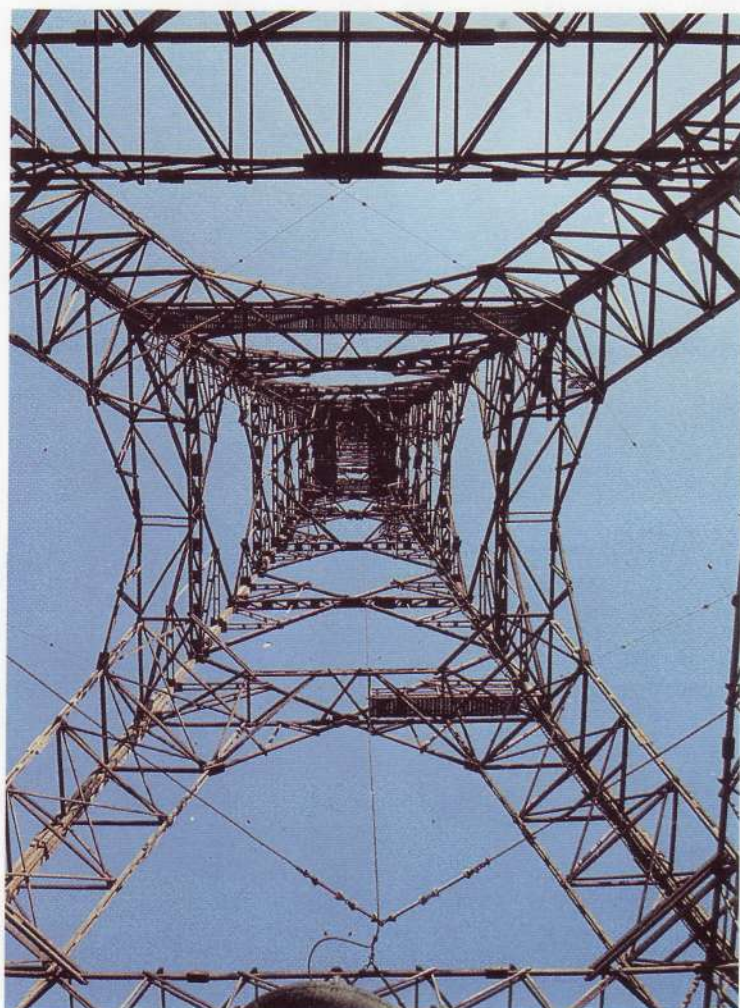
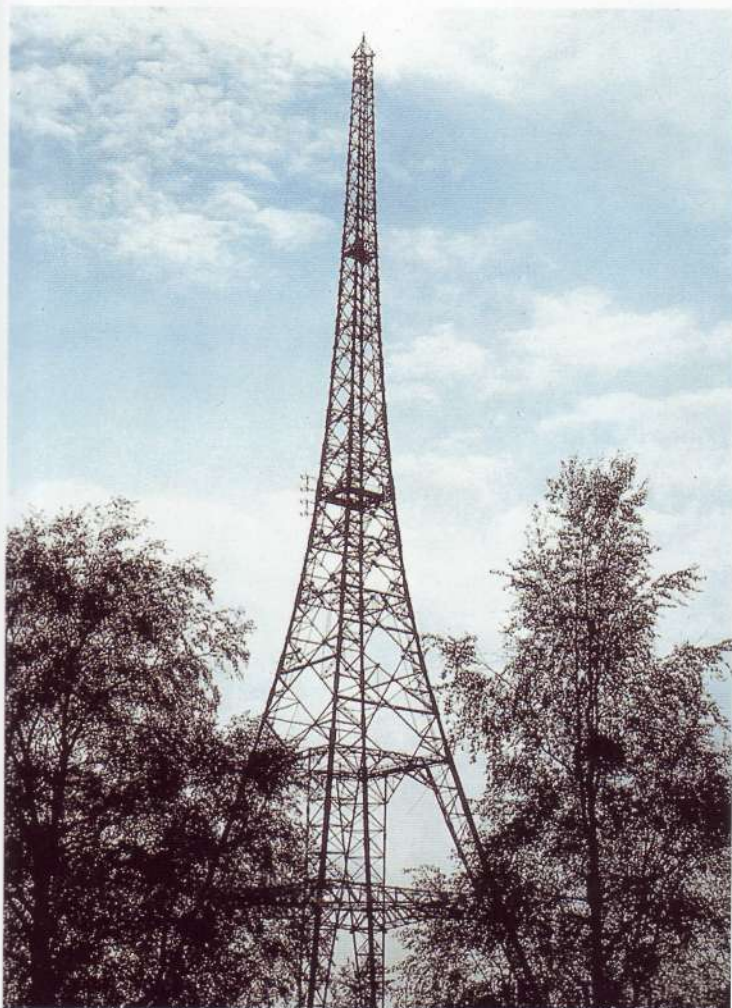



Tavola 8

1 Granaio a Toro, presso Shizuoka, Giappone, IV secolo a.C.
2 Chiesa a palizzate a Heddal, Telemark, Norvegia, metà XIII secolo
3 Giardino d'inverno a Bressanone, Alto Adige, XIX secolo
4. "Het Houten Huis" ad Amsterdam
5 Casa Kojumdschiolu a Plovdiv, Bulgaria, metà XIX secolo

Tavola 9

1 Preston Court, Gloucestershire, Inghilterra, inizio XVII secolo
2 Chiostro a Montvilliers, Francia, XVI secolo
3 A Emmental, Svizzera
4 Case sul Gamie By, presso Arhus, Danimarca, XVI e XVII secolo
5 Casa colonica nella Germania settentrionale

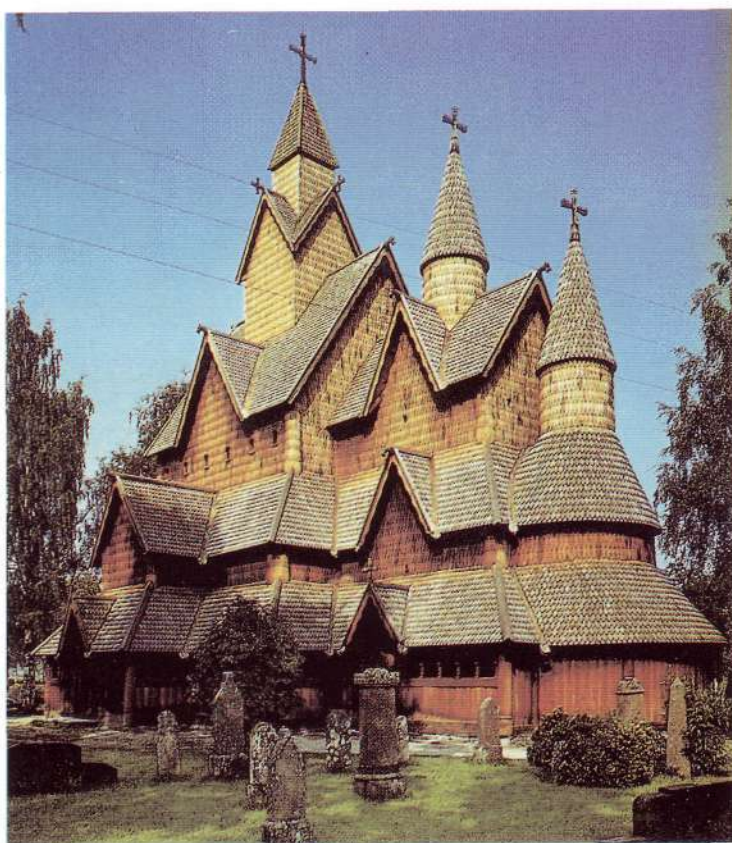
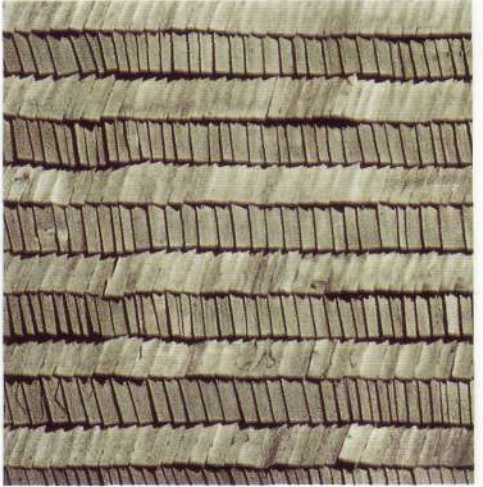
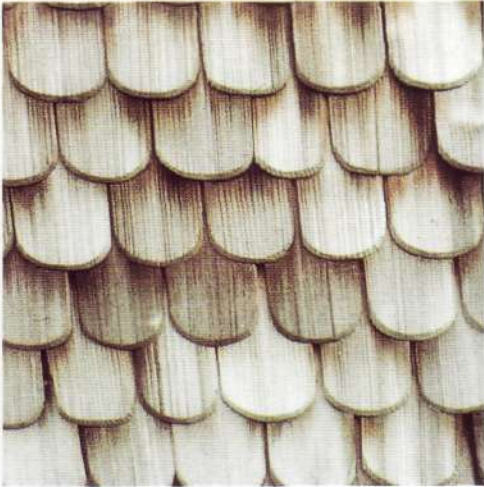
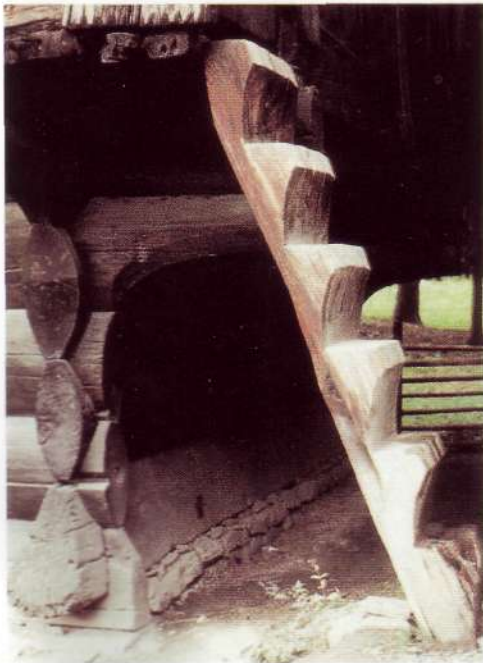
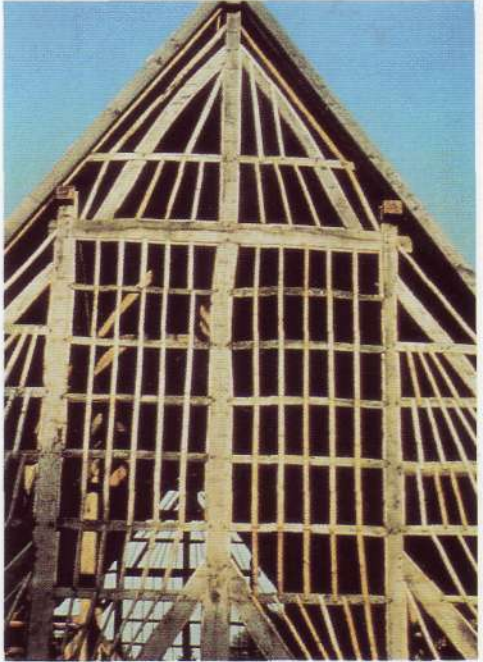



Tavola 10

1 Parete ricoperta di scandole, Svezia
2 Portico a traliccio a Rouen, Francia
3 Scala a Bygdoy presso Oslo, Norvegia
4 Parete ricoperta di scandole, Svizzera
5 Facciata con travi reticolari a Rouen, Francia
6 Scaia del museo all'aperto di Seurasaari, Finlandia
7 Scandole sfalsate, Svizzera
8 Fienile a Bokrijk, Belgio
9 Scala a Petajàvesi, Finlandia, XVIII secolo

1 4 7
2 5 8
3 6 9

1	6	
2	4	7
3	5	8

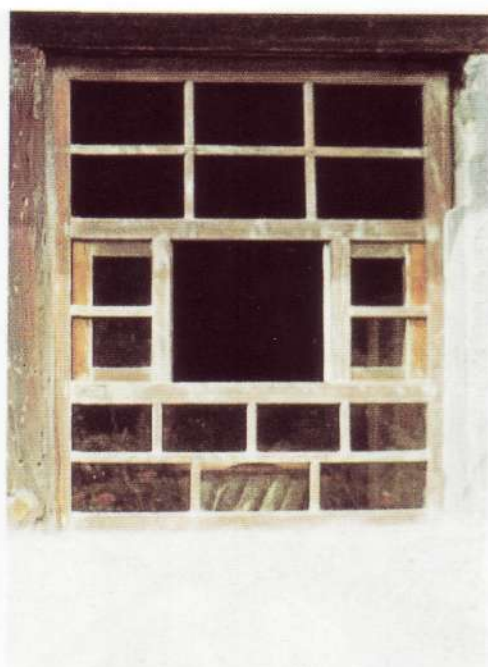
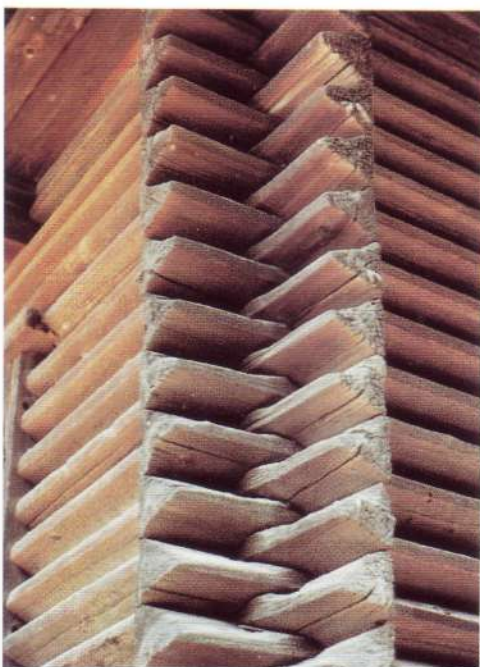



Tavola 11

1 Dettaglio di appoggio, casa colonica a Schalkendorf, Alsazia
2 Shosoin, Nara, Giappone, Vili secolo
3 Piede di una colonna, tempio giapponese
4 Casa colonica del balivo a Gutach, Foresta Nera
5 Piede d'angolo di un granaio, Asturie, Spagna
6 Fienile, Giappone settentrionale
7 Facciata di abitazione presso Rovereto, Trentino
8 Pilone del ponte, Kintai-Bashi, Giappone

Tavola 12

1 Casa Oševnev a Kishi, Carelia, 1876
2 Tetto della chiesa della Trasfigurazione di Cristo a Kishi, Carelia, 1714

1
—
2

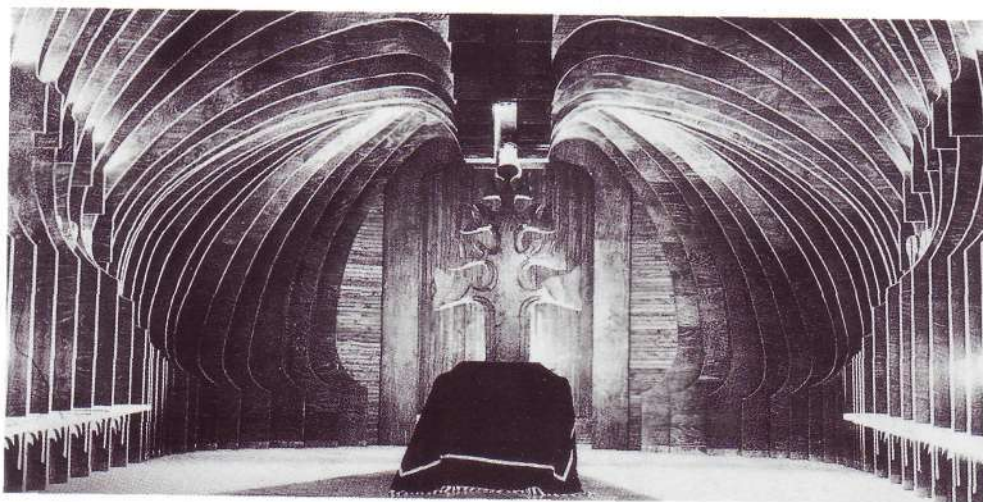



Tavola 13

1 Sala della benedizione a Budapest (architetti Imre Makovecz e Gábor Mezei)
2 Edifici in un campeggio a Nagykàllo, Ungheria (architetti Deszö Erkler, Imre Makovecz), 1988
3 Torre di osservazione per ornitologi, Ungheria (architetto Imre Makovecz), 1982
4 Presso Tokai, Ungheria (architetto Imre Makovecz), 1979

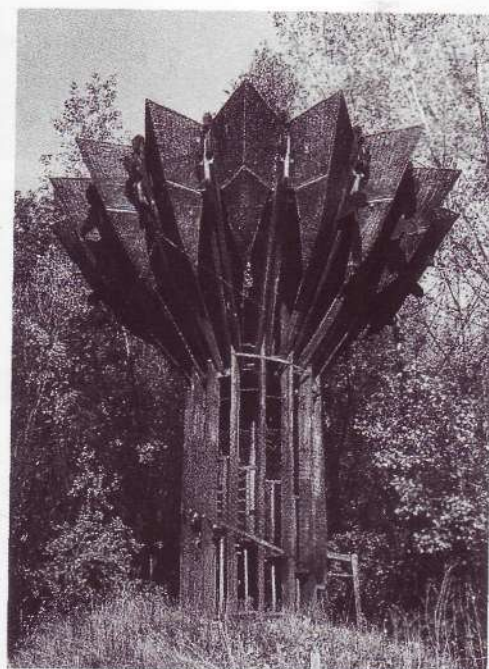
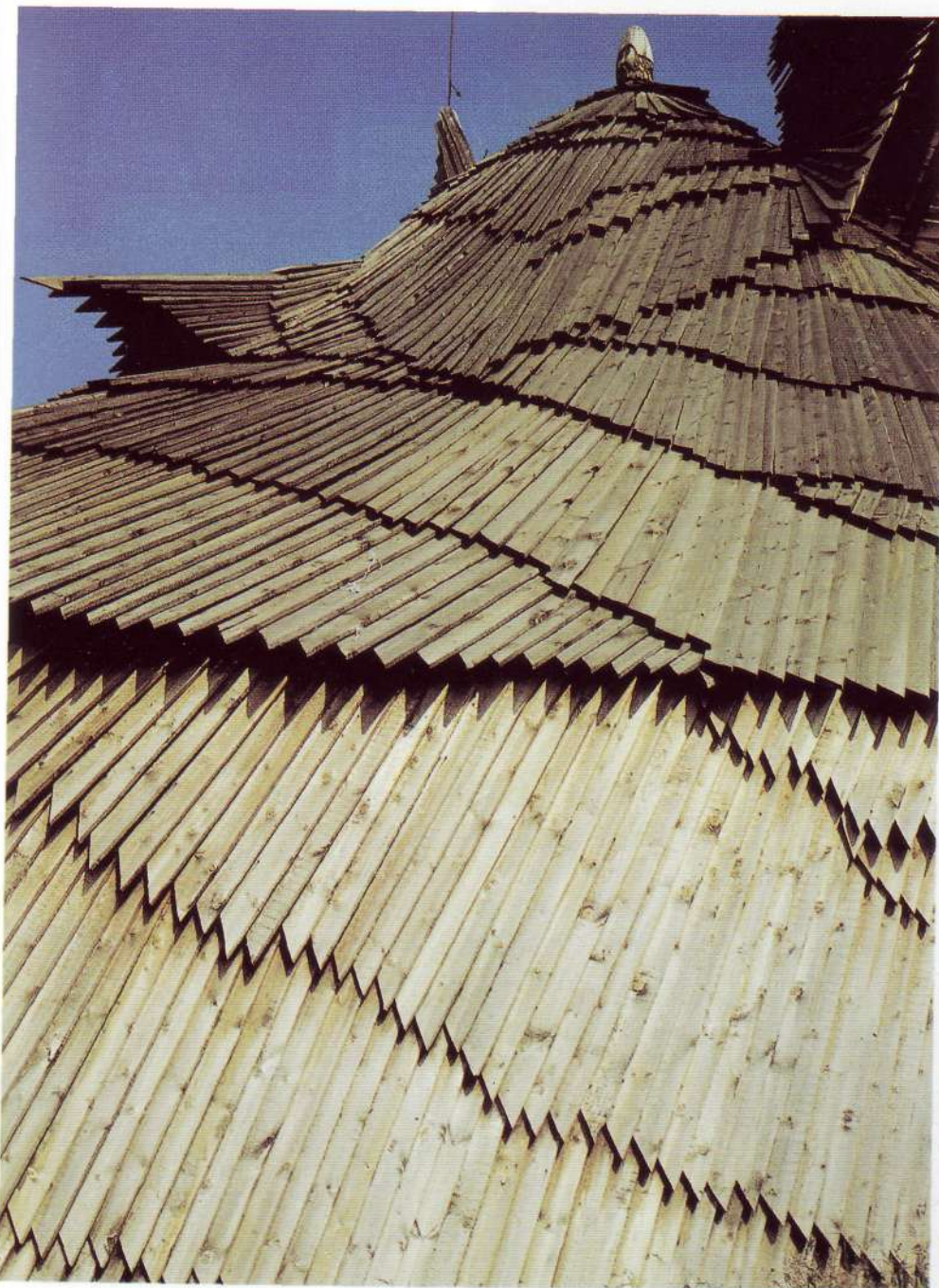



Tavola 14

1,2,3 Edificio principale di villa Katsura a Kyoto, Giappone, metà XVII secolo

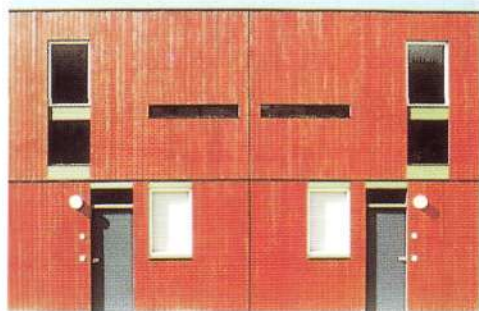



Tavola 15

1 Casa a schiera a Parigi
(architetto Roland Schweitzer), 1979-83
2 Cappella del Politecnico di Otaniemi, Finlandia
(architetti Heikki e Kaija Sirén), 1957
3 Villaggio dei ragazzi a Cieux, Francia (Haute-Vienne)
(architetto Roland Schweitzer), 1970

Tavola 16

da 1 a 4 Cappella di San Benedetto, **Sumvitg,** Grigioni, Svizzera (architetto Peter **Zumthor), 1988**

1
2 3 4

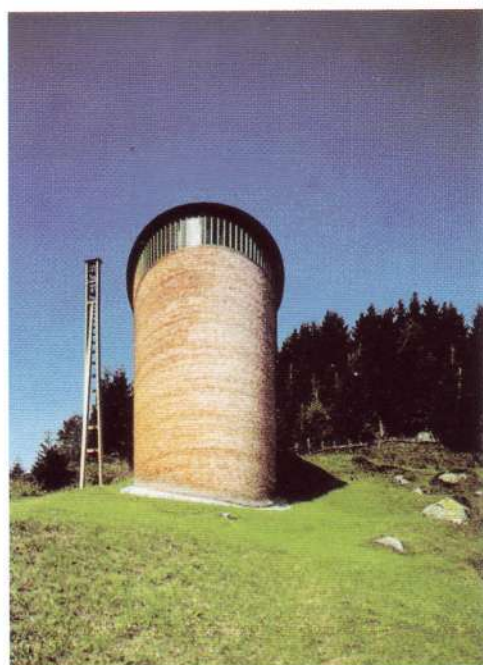
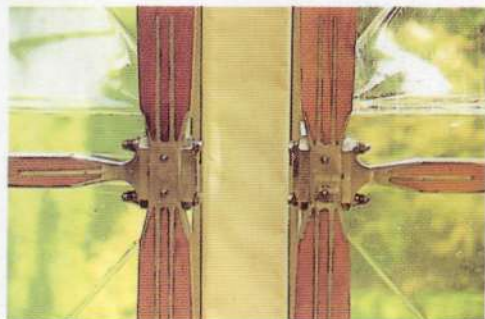
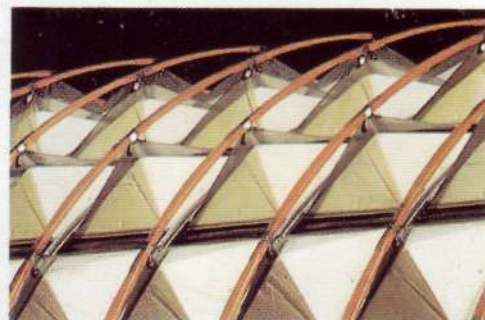
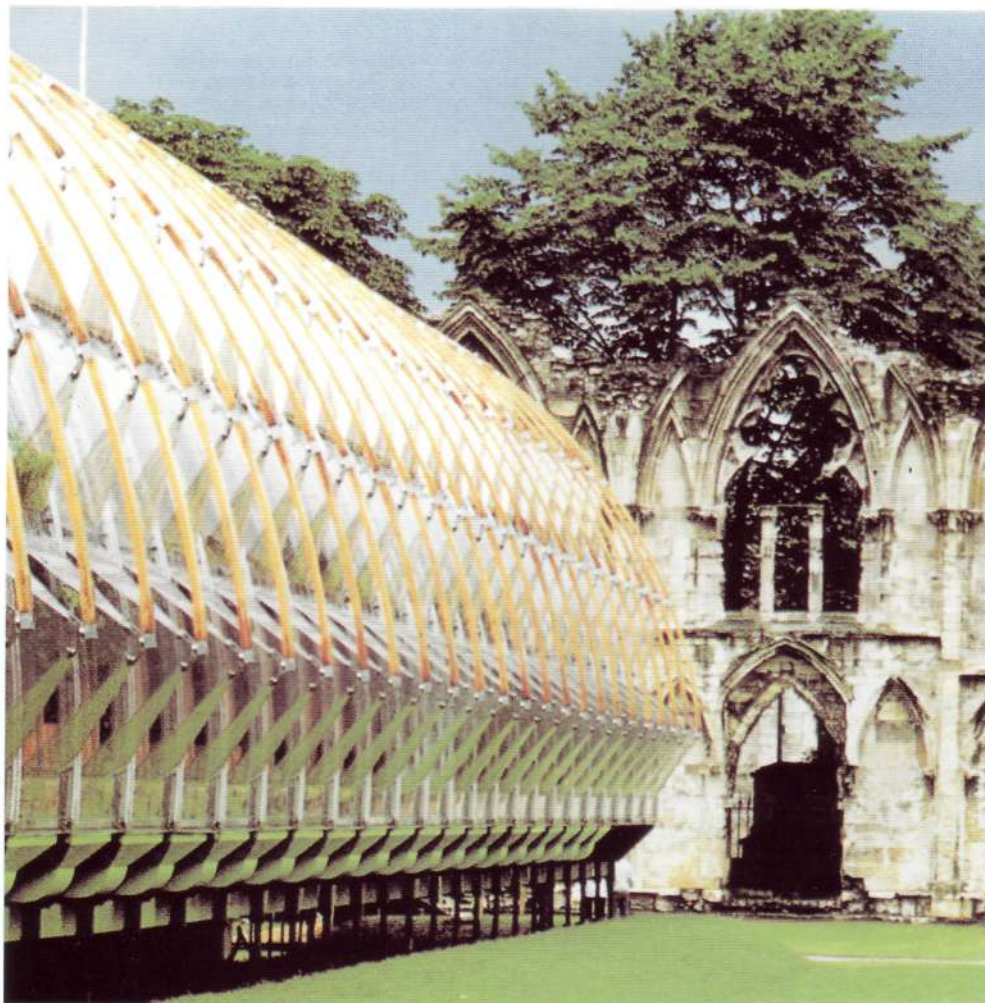



Tavola 17

1, 3, 4, 5 Padiglione smontabile per mostre itineranti (architetto Renzo Piano), 1984
2, 6 Facoltà di architettura di Lione, Francia (architetti Françoise-Hélène Jourda, Gilles Perraudin e soci), 1987

	3
1	4
	5
2	6

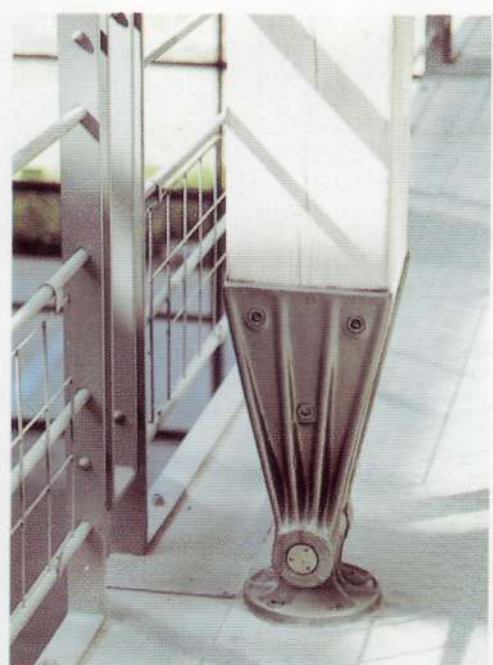
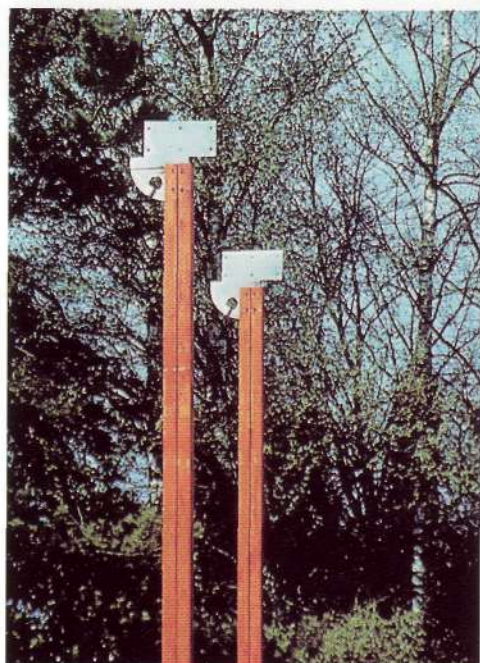
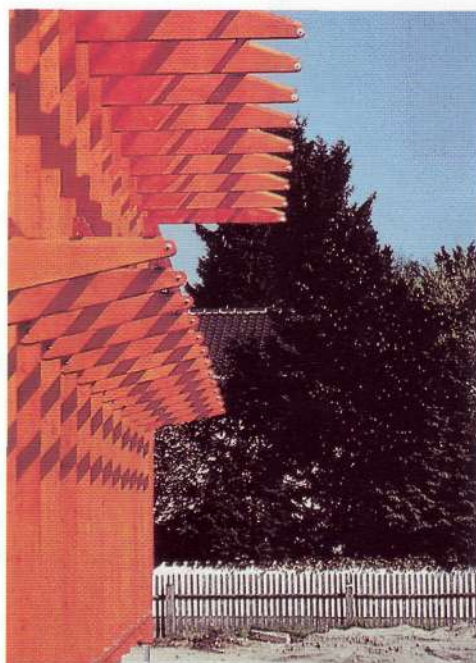



Tavola 18

1, 3 Complesso residenziale a Monaco (architetti Thomas Herzog, Bernhard Schilling), 1982
2, 4, 5 Casa unifamiliare a Ratisbona (architetto Thomas Herzog), 1979

Tavola 19

da 1 a 5
Casa bifamiliare a Pullach, Alta Baviera
(architetti Thomas Herzog, Michael Volz), 1989

Edificio per la Deutsche Bundespost
su! Brauneck, Alta Baviera
(architetti Karin Maurer,
Gerald Schloffer), 1985-86

Parte 2 • Fondamenti: il legno come materiale da costruzione

Thomas Herzog, Michael Volz

La più antica testimonianza dell'impiego tecnico del legno è rappresentata da una punta di giavellotto, risalente a circa 290.000 anni fa. Nella storia delle costruzioni il legno rappresenta il primo, e per molto tempo il più importante, materiale da costruzione per le strutture portanti. Mentre agli inizi furono particolarmente rilevanti le sue caratteristiche, quali la lavorabilità e la facilità di combinazione con le pelli d'animale per costruzioni leggere (tende), oggi la scelta di questo materiale da costruzione è determinata da caratteristiche e proprietà specifiche, come:

- realizzazione in condizioni favorevoli all'ambiente;
- reperibilità e possibilità di lavorazione senza eccessivo impiego di energia da combustibili fossili;
- rapporto molto vantaggioso tra peso e resistenza (portata);
- ampio spettro di valori di densità e di resistenza;
- maggiore resistività termica unita a capacità di isolamento termico relativamente buona;
- numerosi tipi di legno con aspetti esteriori caratteristici molto vari;
- possibilità di ricorrere a mezzi e tecniche di collegamento di elevato valore e impiegabili nei modi più diversi;
- grande scelta di semilavorati di legno massiccio e di prodotti a base di legno con varie possibilità di impiego.

Architetti e ingegneri hanno quindi a disposizione tutta una serie di possibilità tra le quali scegliere il materiale adatto alla costruzione e darne una definizione nell'ambito del progetto e del capitolato. Per la definizione di un elemento da costruzione in legno massiccio oppure in materiale a base di legno, oltre alle misure e ai mezzi di collegamento occorre tenere conto in special modo del tipo di Segno e della sua qualità.

Le pagine seguenti forniscono una panoramica dei vari tipi di legno, comprendente anche alcuni legnami che in genere non vengono usati, ma che sono tuttavia di qualche interesse.

Viene inoltre prestata particolare attenzione al tema della qualità del legno, con relativa definizione e impiego pratico. I valori dei singoli pezzi di legno si devono poter indicare distintamente tramite adeguati metodi di selezione, in modo da consentire di scegliere in modo mirato un legno per un particolare impiego a seconda della qualità. Nei procedimenti oggi utilizzati, in molti casi a causa della grande diversificazione all'interno degli stessi tipi di legno e di una medesima categoria, dell'ottimo legname viene talvolta sottovalutato a favore di legno di qualità inferiore che viene invece sopravvalutato.

Al termine di questo capitolo si trova un elenco dei metodi caratteristici più importanti dell'edilizia in legno con varianti di particolari costruttivi. In questo modo si intende presentare, in forma di prospetto generale, le molteplici possibiiità di impiego di questo materiale da costruzione e fornire al lettore una guida all'orientamento nella ricerca di soluzioni nell'ambito dei propri progetti.

Caratteristiche biologiche del legno

• Il legno possiede una struttura porosa, non omogenea e anisotropa (in riferimento alla direzione della fibratura) composta data sostanza della membrana cellulare e dalle cavità cellulari. Il legno delle conifere geneticamente più vecchio presenta una struttura più semplice rispetto al legno più giovane delle latifoglie: esso è composto prevalentemente da un solo tipo di cellula (detta tracheide, la quale scorre nel senso della lunghezza del tronco e svolge funzioni di conduzione dell'acqua e delle sostanze, nonché di resistenza meccanica. Nel legno delle latifoglie queste funzioni sono svolte da particolari tipi di cellule. La disposizione di questi tipi di cellule, delle cellule dei raggi midollari che decorrono in senso radiale nel tronco e, in alcuni tipi di legno, anche la disposizione dei canali resinosi, la struttura macroscopica e il colore determinato dalle sostanze contenute caratterizzano l'anatomia e l'aspetto dei legnami e ne consentono la classificazione. In pratica, la direzione della fibratura e la disposizione degli anelli di accrescimento, ovvero la sezione del tronco, sono importanti per le proprietà meccaniche del legno, I principali livelli di sezione sono: sezione trasversale, sezione radiale e sezione tangenziale (vedi illustrazioni), in relazione a ciò, la sequenza concentrica degli anelli di accrescimento sulla sezione trasversale del tronco rappresenta un'importante caratteristica strutturale. Gli anelli di accrescimento vengono formati dal tessuto meno spesso e con pori grandi, prodotto in primavera, e dal legno tardivo, più spesso. Gli anelli sono riconoscìbili a occhio nudo nella maggior parte dei tronchi di conifere e di latifoglie e caratterizzano l'aspetto del legno.

• La corteccia è composta da corteccia primaria (0 libro) e corteccia secondaria (0 scorza).

• li cambio è II tessuto generatore di cellule. Attraverso la divisione delle cellule si formano la corteccia verso l'esterno e le cellule legnose verso l'interno.

Principali caratteristiche fisiche del legno

• Densità p. Misura di riconoscimento del legno che indica il rapporto tra la massa legnosa e il suo volume (compresa la sostanza delle pareti cellulari più la cavità interna, cioè il volume dei pori) in g/cm^3 oppure in kg/m^3. Dalla densità, che varia fra 0,1 g/cm^3 (legno di balsa) e 1,2 g/cm^3 circa (legno di guaiaco) e, considerevolmente, in relazione al tipo di legno, dipendono tutte le aitre caratteristiche dei legno. Il peso specifico è a sua volta influenzato da:

• umidità del legno, che varia in base alle proprietà igroscopiche a seconda dell'umidità relativa dell'aria: incremento dell'umidità in caso di aumento dell'umidità dell'aria ed essiccazione in caso di diminuzione dell'umidità dell'aria in seguito ad assorbimento di molecole d'acqua nelle pareti cellulari, e conseguente loro diffusione nell'aria dell'ambiente circostante. Se il legno viene depositato a stagionare in condizioni di alta percentuale di umidità, ovvero il 100% circa dell'umidità relativa dell'aria, esso raggiunge un livello di saturazione delle fibre con circa il 30% di umidità.

Definizione dell'umidità u del legno:

$$u = \frac{m_u - m_0}{m_0} \cdot 100\ (\%)$$

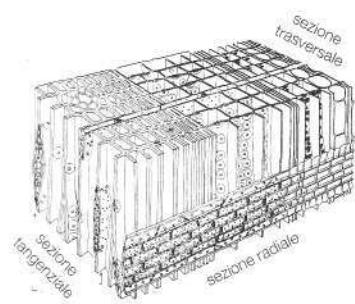
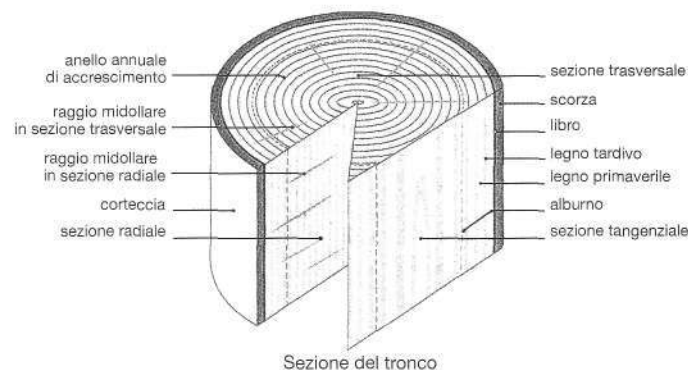
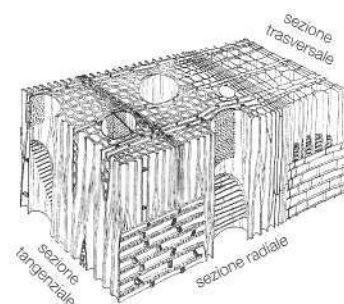
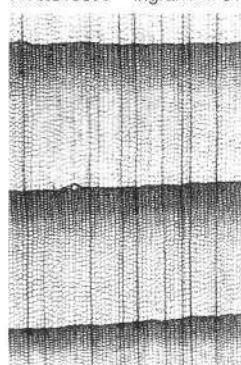
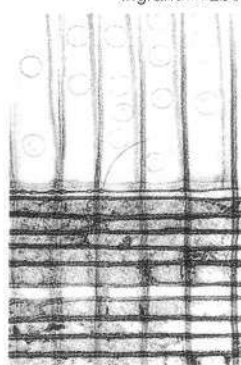
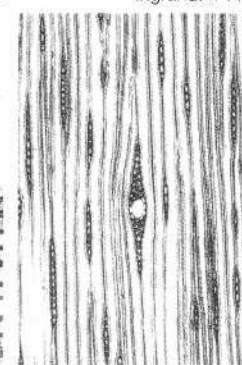
dove m_u indica la massa umida e m_0 la massa secca del campione di legno. Il valore u influenza considerevolmente anche tutte le altre caratteristiche del legno. Le sue variazioni causano:

- il rigonfiamento in caso di assorbimento;
- il ritiro in caso di emissione,

Queste variazioni vengono espresse numericamente soprattutto come misura differenziale di rigonfiamento, ovvero di ritiro, in percentuali della dimensione perpendicolare alla fibratura, a ogni variazione di umidità del legno pari all' 1 % e caratterizzano la stabilità dimensionale e di forma;

• l'assorbimento capillare di acqua nelle cavità cellulari al di sopra del livello dì saturazione delle fibre dipende dalla permeabilità della struttura cellulare, dalla quale a sua volta dipende il grado dì impregnazione. Il legno senza resistenza biologica è soggetto alla formazione di funghi e marcisce se viene costantemente inumidito da acqua corrente.

Altre caratteristiche

Il legno si comporta in modo anisotropo, cioè lungo la fibratura esso può essere sollecitato diversamente rispetto alla direzione trasversale (ad es. nel caso dell'abete rosso la tensione di trazione ammissibile lungo la fibratura è pari a 10,5 MN/m^2 mentre quella trasversale alla fibratura è 0,05 MN/m^2). Anche le sezioni del legno presentano aspetti molto diversi. L'ampiezza degli anelli annuali di accrescimento, il colore, le inclusioni e altre caratteristiche nella sezione trasversale forniscono dati sull'età e la storia dell'albero, Il "disegno" nella sezione longitudinale è simmetrico ed è caratterizzato principalmente dal colore del legno. I componenti principali del legno sono la cellulosa (40-50%), le emicellulose (20-30%) e la lignina (20-30%). Questo vale per tutti i tipi di legno. Nel legno sono poi contenute altre sostanze, che possono essere solubili 0 insolubili, dalle quali dipende essenzialmente la determinazione del colore, dell'odore, delle caratteristiche di lavorabilità e la resistenza alle influenze dannose.

Conifera (larice)

Sezione del tronco

Latifoglia (betulla)

Sezione trasversale

Sezione radiale

Sezione tangenziale

Sezione trasversale

Sezione radiale

Sezione tangenziale

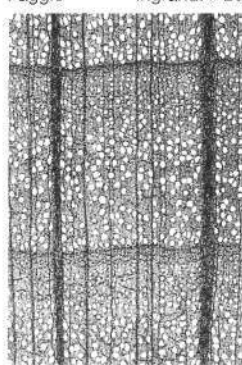
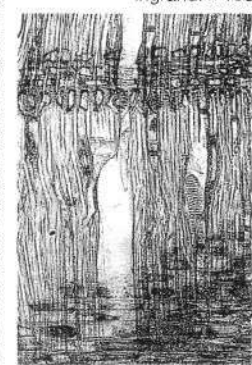



Foto: dottor Grosser, Istituto per la ricerca sul legno, Monaco.

Valori e proprietà fisiche

	Densità [g/cm³]		Umidità del legno di stabilizzazione u_{gl} in % con umidità relativa dell'aria conforme a DIN 68.100		Ritiro differenziale in % a seconda della variazione di umidità del legno		Stabilità dimensionale e di forma	Conduttività termica λ [W/mK][2]	Velocità di adattamento dell'umidità del legno
	r_0 (essiccato in forno)	r_{15} (stagionato all'aperto)	φ = 37%	φ = 83%	radiale	tangenziale			
Legno di conifere									
1 Cirmolo o pino cembro	0,35…0,45	0,38…0,48			0,11	0,23	ottima		elevata
2 Douglasia o abete americano	0,47…0,53	0,51…0,58	8,3	16,1	0,15…0,19	0,24…0,31	buona	0,12	elevata
3 Abete rosso	0,40…0,43	0,43…0,47	7,0	16,4	0,15…0,19	0,27…0,36	buona	0,10…0,12	elevata
4 Hemlock o abete del Canada	0,43…0,46	0,46…0,50			0,11…0,13	0,24…0,25	buona	0,09…0,12	elevata
5 Pino silvestre	0,46…0,51	0,51…0,55	7,0	15,3	0,15…0,19	0,25…0,36	da media a buona	0,14	elevata
6 Larice, europeo e giapponese	0,50…0,58 0,49	0,54…0,62 0,53	8,4	17,1	0,14…0,18	0,28…0,36	buona	0,12	da media a elevata da elevata a media
7 Pino radiata	0,40…0,55	0,43…0,59			0,16	0,25…0,27	buona		elevata
8 Sequoia rossa	0,35…0,42	0,37…0,45			0,09…0,10	0,17…0,21	ottima		elevata
9 Pino nero	0,56	0,60							elevata
10 Southern pine	0,47…0,63	0,51…0,69			0,18	0,29…0,33	da media a buona		media
11 Abete bianco	0,40…0,45	0,43…0,48	7,1	16,9	0,12…0,16	0,28…0,35	buona	0,11…0,13	elevata
12 Western Redcedar	0,33…0,36	0,36…0,39			0,07…0,09	0,20…0,24	ottima	0,09	elevata
13 Pino bianco	0,37…0,40	0,40…0,43			0,08…0,11	0,20…0,23	ottima	0,12	elevata
Legno di latifoglie									
14 Afzelia (Doussié)	0,69…0,85	0,75…0,93	7,3	13,7	0,11…0,13	0,17…0,22	ottima		molto ridotta
15 Acero	0,57…0,62	0,61…0,66			0,10…0,20	0,22…0,23	da media a buona	0,16…0,18	ridotta
16 Azobé (Bongossi)	0,94…1,05	1,02…1,12	8,3	16,3	0,30…0,32	0,40	da ridotta a media		molto ridotta
17 Betulla	0,61…0,66	0,65…0,73	6,9	16,1	0,18…0,24	0,26…0,31	media		media
18 Faggio	0,64…0,72	0,70…0,79	7,3	15,7	0,19…0,22	0,38…0,44	ridotta	0,16	da media a elevata
19 Ebano	0,98…1,09	1,05…1,18			ca. 0,27	ca. 0,30			molto ridotta
20 Castagno	0,52…0,59	0,56…0,68			0,14	0,21…0,26	buona		ridotta
21 Quercia	0,60…0,70	0,65…0,76	8,9	17,2	0,18…0,22	0,28…0,35	media	0,13…0,20	ridotta
22 Quercia rossa d'America	0,64…0,70	0,69…0,76			0,16	0,31	media		ridotta
23 Frassino	0,64…0,70	0,68…0,76	7,3	16,5	0,17…0,21	0,27…0,38	media	0,15	da ridotta a media
24 Greenheart	0,93…1,02	1,01…1,15			0,28	0,35…0,40	media		molto ridotta
25 Keruing	0,68…0,85	0,74…0,92			0,20…0,28	0,33…0,41	ridotta		molto ridotta
26 Ciliegio	0,52…0,62	0,56…0,66			0,16…0,18	0,26…0,30	buona		media
27 Limba	0,49…0,58	0,53…0,63			0,12…0,17	0,21…0,25	buona		media
28 Tiglio	0,45…0,53	0,48…0,57			0,15…0,23	0,24…0,32	buona		media
29 Mogano Vero	0,48…0,55	0,52…0,59			0,11…0,15	0,17…0,22	ottima		da molto ridotta a ridotta
30 Mogano Sipo	0,52…0,62	0,56…0,67	8,4	17,0	0,18…0,22	0,23…0,26	buona		molto ridotta
31 Makorè	0,56…0,68	0,61…0,73	–	19,0[1]	0,18…0,23	0,26…0,30	buona		ridotta
32 Meranti, rosso cupo	0,55…0,70	0,59…0,76	8,3	18,0	0,14…0,18	0,29…0,34	buona		molto ridotta
33 Meranti, rosso chiaro	0,45…0,58	0,48…0,62			0,11…0,18	0,25…0,30	buona		ridotta
34 Merbau	0,76…0,83	0,81…0,90			0,13	0,26	ottima		molto ridotta
35 Noce, europeo	0,60…0,64	0,64…0,68	6,7	14,8	0,18…0,23	0,25…0,30	da media a buona	0,13	ridotta
36 Noce, americano	0,56…0,61	0,61…0,66			0,19	0,26	da media a buona		da ridotta a media
37 Palissandro	0,80…0,85	0,86…0,92			0,23…0,25	0,35…0,39	media		molto ridotta
38 Robinia	0,69…0,74	0,74…0,80			0,17…0,24	0,32…0,38	media		da ridotta a molto ridotta
39 Teak	0,55…0,65	0,59…0,70	7,2	13,4	0,13…0,15	0,24…0,29	ottima	0,16…0,18	molto ridotta
40 Olmo	0,56…0,64	0,60…0,68	7,9	16,1	0,17…0,20	0,27…0,29	media	0,14	da ridotta a media
41 Salice	0,35…0,52	0,38…0,56			0,11…0,13	0,22	buona		elevata
42 Wengè	0,75…0,82	0,81…0,89	7,1	12,3	0,20…0,23	0,35…0,43	media		molto ridotta

1) Umidità relativa dell'aria = 90%.
2) Trasversale alla fibratura con umidità dei legno dal 12 al 15%.

Tensioni ammissibili/moduli di elasticità ammissibili (per tipi di legno privi di dati non vale quanto stabilito dalle norme indicate)

	Tensioni ammissibili per legno massiccio e legno lamellare [ ] N/mm² in condizione di carico H conforme a DIN 1052 (i valori non valgono per i tipi di legno contrassegnati con *) Classi di qualità III, II, I conformemente alle categorie S7, S10, S13 secondo DIN 4074																			Modulo di elasticità ammissibile E e modulo di elasticità tangenziale G in N/mm² per legno massiccio e legno lamellare [ ] conforme a DIN 1052 (i valori non valgono per i tipi di legno contrassegnati con *)		
	Flessione amm σ_B			Trazione amm $\sigma_Z \parallel$			Trazione amm $\sigma_Z \perp$		Pressione amm $\sigma_D \parallel$			Pressione amm $\sigma_D \perp$		Taglio amm τ_a		Sforzo di taglio amm τ_Q		Torsione[2)] amm τ_T				
	I	II	III	I	II	III	I+II	III	I	II	III	I+II	III	I+II	III	I+II	III	I+II	III	$E_{\parallel}$	$E_{\perp}$	G
Legno di conifere																						
1 Cirmolo o pino cembro* 2 Douglasia o abete americano 3 Abete rosso 4 Hemlock o abete del Canada 5 Pino silvestre 6 Larice, europeo e giapponese 7 Pino radiata* 8 Sequoia rossa (Redwood)* 9 Pino nero* 10 *Southern pine* 11 Abete bianco 12 Western Redcedar* 13 Pino bianco	13 [14]	10 [11]	7	10,5 [10,5]	8,5 [8,5]	0	0,05 [0,2]	0	11 [11]	8,5 [8,5]	6	2/ 2,5[1)] [2,5]/ [3,0][1)]	2/ 2,5[1)]	0,9 [0,9]	0,9	0,9 [1,2]	0,9	1 [1,6]	0	10000[3)4)] [11000]	300[5)] [300]	500 [500]
Legno di latifoglie	Classe di qualità minima II conforme a DIN 4074 parte 1 e parte 2																					
14 *Afzelia* (*Doussié*)	17			10			0,05		13			4		1,4		1,4		1,6		13000	800	1000
15 Acero																						
16 Azobé (Bongossi)	25			15			0,05		20			8		2		2		2		17000[6)]	1200[6)]	1000[6)]
17 Betulla																						
18 Faggio	11			10			0,05		10			3/4[1)]		1		1		1,6		12500	600	1000
19 Ebano 20 Castagno																						
21 Quercia	11			10			0,05		10			3/4[1)]		1		1		1,6		12500	600	1000
22 Quercia rossa d'America 23 Frassino																						
24 Greenheart	25			15			0,05		20			8		2		2		2		17000[6)]	1200[6)]	1000[6)]
25 Keruing	11			10			0,05		10			3/4[1)]		1		1		1,6		12500	600	1000
26 Ciliegio 27 Limba 28 Tiglio 29 Mogano Vero 30 Mogano Sipo 31 Makorè 32 Meranti, rosso cupo 33 Meranti, rosso chiaro																						
34 Merbau	17			10			0,05		13			4		1,4		1,4		1,6		13000	800	1000
35 Noce, europeo 36 Noce, americano 37 Palissandro 38 Robinia																						
39 Teak	11			10			0,05		10			3/4[1)]		1		1		1,6		12500	600	1000
40 Olmo 41 Salice 42 Wengè																						

1) In caso di impiego di questi valori vanno calcolate impronte più grandi, che all'occorrenza devono essere tenute in considerazione sotto l'aspetto costruttivo. In caso di unioni con mezzi di collegamento diversi questi valori non devono venire applicati.
2) Per sezioni modulari vanno rispettati i valori secondo la spinta trasversale.
3) Per classe di qualità III: $E_{\parallel}$ = 8000 N/mm².
4) Per legname tondo da costruzione: E_N = 12.000 N/mm².
5) Per classe di qualità III: $E_{\perp}$ = 240 N/mm².
6) Questi valori valgono indipendentemente dall'umidità del legno.

Resistenze alla rottura

Resistenze alla rottura in N/mm²				Modulo elastico Prova di flessione in N /mm²	
Flessione σ_B	Trazione $\sigma_{Z\parallel}$	Pressione $\sigma_{D\parallel}$	Taglio τ_B	$E_\parallel$	
					Legno di conifere
68	89	40		7600	1 Cirmolo o pino cembro
70…100	82…105	42…68	7,0…10,2	11000…13200	2 Douglasia o abete americano
65…77	80…90	40…50	5,0…7,5	10000…12000	3 Abete rosso
70…80	68	36…54	7,5…8,0	8500…11500	4 Hemlock o abete del Canada
79…100	99…105	45…55	7,2…11,2	10800…13000	5 Pino silvestre
88…99	92…110	45…62	8,8…10,9	10600…14500	6 Larice, europeo e giapponese
60…75	72…86	36…45	6,8…7,5	8500…11400	7 Pino radiata
50…69	76	29…42	5,6…6,4	6500…9200	8 Sequoia rossa (Redwood)
Resistenze di solito leggermente più elevate rispetto al pino silvestre					9 Pino nero
74…105		41…58	7,0…12,5	11100…14500	10 Southern pine
62…74	80…93	40…52	4,9…7,5	10000…14500	11 Abete bianco
48…55	50…60	29…35	4,5…6,5	7400…8400	12 Western Redcedar
53…60	70…100	30…45	5,4…6,3	8200…10000	13 Pino bianco
					Legno di latifoglie
110…150	120	68…85	7,4…14,6	12200…17700	14 Afzelia (Doussié)
85…135	80…140	46…62	8,5…11	9100…12000	15 Acero
165…240	150…215	87…108	11,7…15,6	15000…21600	16 Azobé (Bongossi)
120…144	130…140	42…60	11,8…14,2	13300…16200	17 Betulla
90…125	100…135	52…64	7,7…10,0	12300…16400	18 Faggio
189		65…92		17700	19 Ebano
63…79	115…142	40…52	7,8…9,3	8200…8800	20 Castagno
86…108	88…110	52…64	9,3…11,5	10500…14500	21 Quercia
98…110	130…160	46…50	11,8…12,4	12400…13000	22 Quercia rossa d'America
100…127	130…160	43…59	12,0…13,4	11900…13900	23 Frassino
180…215	220…275	90…115	14,0	21000…23500	24 Greenheart
110…160	110…140	58…71	9,0…11,7	14000…21000	25 Keruing
83…110	98	44…55		9500…11000	26 Ciliegio
75…105	100…110	38…55	6,5…9,5	9500…13000	27 Limba
88…105	83	43…53	4,4	7000…11000	28 Tiglio
74…90		30…55	8,0…11,5	7400…10600	29 Mogano Vero
90…104	100…110	51…60	7,5…14,0	8800…11800	30 Mogano Sipo
95…115	76…135	52…55	8,3…8,8	9800…11800	31 Makorè
90…126	120…165	51…65	8,2…10,0	11400…15700	32 Meranti, rosso cupo
78…108	100…137	40…54	7,1…8,1	10500…13600	33 Meranti, rosso chiaro
105…142	140	59…82	12,4…17,4	12700…17900	34 Merbau
90…145	95…100	57…70	7,0…8,9	10800…12900	35 Noce, europeo
90…106		45…55	8,8…9,6	10800…13500	36 Noce, americano
130…138		65…69	13,0…14,5	9000…12900	37 Palissandro
118…145	120…148	58…72	12,5…16,0	11000…15700	38 Robinia
85…110	117	52…60	8,2…9,4	10000…13700	39 Teak
72…105	78	45…55	6,8	10800	40 Olmo
30…63	46…63	24…33	3,5…(6,9)	5800…7000	41 Salice
125…165		74…79	10,1…15,7	16700…17700	42 Wengè

Tipi di legno: legno di conifere"

Nome del legno	Colore del legno		Caratteristiche macroscopico-anatomiche	
	Alburno	Durame	Legno tardivo e primaverile, canali resiniferi	Fibratura, struttura, aspetto
1 Cirmolo o pino cembro	Bianco-giallo	Rossastro chiaro con tendenza a scurirsi, nodi rosso scuro-bruno	Sezione di legno tardivo ridotta, poco delimitata; presenza di canali resiniferi	Particolarmente nodoso; decorativo
2 Douglasia o abete americano	Bianco giallognolo	Bruno rossiccio, con tendenza a scurirsi, legno tardivo scuro	Legno tardivo ampio e nettamente delimitato; presenza di canali resiniferi	Da semplice a decorativo
3 Abete rosso	Alburno e durame non si distinguono; il legno primaverile è bianco giallognolo, quello tardivo giallo rossastro.		Legno tardivo stretto ma nettamente visibile; presenza di canali resiniferi	Da semplice a decorativo (segato secondo la venatura)
4 Hemlock o abete del Canada	Alburno e durame non si distinguono; grigio brunastro chiaro, talvolta con striature chiare; il legno tardivo è leggermente più scuro.		Legno tardivo poco distinguibile; assenza di canali resiniferi	Semplice
5 Pino silvestre	Bianco giallognolo chiaro	Bianco rossastro, che diventa brunastro, legno tardivo più scuro	Legno tardivo nettamente visibile; molti canali resiniferi	Da semplice a decorativo
6 Larice, europeo e giapponese	Giallognolo	Bruno rossiccio con tendenza a scurirsi, legno tardivo bruno scuro	Legno tardivo ampio e ben visibile; presenza di canali resiniferi	Da semplice a decorativo
7 Pino radiata	Molto ampio, giallo biancastro	Bruno rossiccio pallido	Legno tardivo ben visibile; molti canali resiniferi	Spesso a fibratura grossa; semplice
8 Sequoia rossa (Redwood)	Giallognolo	Rosso chiaro, che diventa brunastro, legno tardivo più scuro	Legno tardivo esiguo; assenza di canali resiniferi	Il legno da boschi ha anelli fini, quello di piantagione più grossi; da semplice a decorativo (segato secondo la venatura)
9 Pino nero	Bianco giallognolo chiaro	Bruno rossiccio chiaro, legno tardivo più scuro	Legno tardivo ampio e ben visibile; presenza di canali resiniferi	Da semplice a decorativo (segato secondo la venatura)
10 Southern pine	Giallognolo	Da giallo rossiccio a bruno rossiccio, legno tardivo scuro	Legno tardivo solitamente molto ampio; molti canali resiniferi	Parte di legno tardivo grossa e molto visibile, che determina l'aspetto complessivo del legno; da semplice a decorativo
11 Abete bianco	Alburno e durame non si distinguono; il legno primaverile è quasi bianco, quello tardivo rossastro pallido.		Legno tardivo nettamente visibile; assenza di canali resiniferi	Da semplice a decorativo (segato secondo la venatura)
12 Western Redcedar	Bianco	Bruno-rosso con tendenza a scurirsi, legno tardivo più scuro	Legno tardivo stretto; assenza di canali resiniferi	Da semplice a decorativo
13 Pino bianco	Bianco giallognolo chiaro	Bruno rossiccio chiaro, con tendenza a scurirsi	Legno tardivo stretto, poco visibile; molti canali resiniferi	Semplice

Tipo di legno: legno di latifoglie

Nome del legno	Colore del legno		Caratteristiche macroscopico-anatomiche	
	Alburno	Durame	Dimensione e disposizione dei pori, canali resiniferi ecc.	Fibratura, struttura, aspetto
14 Afzelia (Doussié)	Da grigio-bianco a giallognolo chiaro	Da giallognolo a bruno chiaro, tendente al bruno rossiccio	Sparsi, grossi	Marcato accrescimento incrociato; anelli ben visibili; decorativo
15 Acero	Alburno e durame non si distinguono quasi; bianco giallognolo; leggermente argenteo; con lucentezza sericea		Sparsi, piccoli	Spesso fibratura ondulata decorativa; limite degli anelli riconoscibile; decorativo
16 Azobé (Bongossi)	Bruno-rosso scuro	Bruno-rosso cupo con leggera tonalità violetta	Sparsi, grossi	Fibratura irregolare; zone di accrescimento non riconoscibili; da semplice a decorativo
17 Betulla	Alburno e durame non si distinguono quasi: da bianco giallognolo a giallo rossiccio		Sparsi, da piccoli a medi	Spesso fibratura ondulata, con macchie midollari; zone di accrescimento poco marcate; da semplice a decorativo
18 Faggio	Alburno e durame non si distinguono quasi: da giallognolo chiaro a grigio rossiccio: spesso segnati in modo irregolare con sfumature velate o a chiazze		Sparsi, piccoli, raggi in parte molto ampi e ben visibili	Limite degli anelli moderatamente visibile; semplice
19 Ebano	Da grigio rossiccio a bruno-grigio	Nero scuro, talvolta con tonalità di grigio	Gruppi radiali corti, piccoli	Zone di accrescimento non riconoscibili; decorativo
20 Castagno	Grigio	Bruno-giallo chiaro, tendente a scurirsi	A pori circolari, grossi	Anelli molto visibili; decorativo
21 Quercia	Grigio	Giallo-grigio, marrone da chiaro a scuro, tendente a scurirsi	A pori circolari, grossi	Anelli molto visibili; decorativo
22 Quercia rossa d'America	Grigio da chiaro a rossiccio	Da bruno-grigio a rosso pallido	A pori circolari, grossi	Anelli molto visibili; da semplice a decorativo
23 Frassino	Da bianco a giallognolo chiaro	Da grigio chiaro a oliva, spesso con zone più scure	A pori circolari, grossi	Anelli molto visibili; talvolta con fibratura ondulata; decorativo

1) Tratto da Jürgen Sell, Eigenschaften und Kenngrößen von Holzarten, Zurigo-Dietikon, 1987: Holzlexikon, Stoccarda, 1988; Info-Dienst Holz 12/89.

Resistenza del durame		Applicazioni	Area di diffusione	Nome del legno
ai funghi	agli insetti			
medio-ridotta	ridotta	Massiccio per mobili e pannellature; legno segato	Monti europei	1 Cirmolo o pino cembro
media, alburno sensibile all'azzurramento	media	Costruzioni interne sottoposte ad alte sollecitazioni, con legno esterno trattato; pavimentazioni; costruzioni navali; sfogliato per pannelli di compensato; doghe	Costa occidentale del Nordamerica, coltivato in Europa	2 Douglasia o abete americano
ridotta, sensibile all'azzurramento	ridotta	Legno strutturale europeo più importante; costruzioni interne, anche esterne se trattate; telai; legno di spessore, sfogliato per pannelli di compensato; pali; casse; industria del legno	Europa	3 Abete rosso
da ridotta a media	ridotta	Costruzioni interne sottoposte a moderate sollecitazioni; infissi; rivestimenti; saune; legno di spessore; sfogliato per pannelli di compensato	Nordamerica nordoccidentale, coltivato in Europa	4 Hemlock o abete del Canada
da ridotta a media; alburno molto sensibile all'azzurramento	ridotta	Importante legno strutturale europeo; costruzioni interne, anche esterne se sottoposte a trattamento; infissi; massiccio e impiallacciato per mobili, rivestimenti; legname per miniera; legno per uso industriale; pavimentazioni	Europa, Asia nordoccidentale	5 Pino silvestre
da media a ridotta	da media a elevata	Costruzioni interne ed esterne sottoposte a elevate sollecitazioni; mobili; rivestimenti, arredamento	Europa centrale, Giappone, coltivato in Europa	6 Larice, europeo e giapponese
ridotta	ridotta	Costruzioni interne, anche esterne se trattato chimicamente; pavimentazioni; doghe; pannelli di compensato	Coltivato in Europa, Sudamerica, Sudafrica e Australia	7 Pino radiata
elevata	elevata	Mobili e rivestimenti, costr. interne sottoposte a sollecitazioni ridotte ed esterne con buona precisione dimensionale; rivestimenti di facciate; sfogliato per pannelli di compensato	Costa occidentale degli Stati Uniti (Oregon, California centrale)	8 Sequoia rossa (Redwood)
ridotta	ridotta	Come il pino	Europa meridionale e centrale	9 Pino nero
alburno ridotta, durame media	da ridotta a media	Come *pitch pine* (durame) per costruzioni interne sottoposte a sollecitazioni elevate e (previo trattamento) anche esterne; legno compensato; come *red pine* (alburno) per costruzioni e rivestimenti interni	Nordamerica meridionale e sudorientale, America centrale	10 Southern pine
ridotta; sensibile all'azzurramento	ridotta	Come il pino; costruzioni interne, anche esterne previo trattamento; arredamento; rivestimenti; legno di spessore, casse; pali; legno per uso industriale	Europa centrale e meridionale	11 Abete bianco
molto elevata	elevata	Costr. interne ed esterne sottoposte a sollecitazioni ridotte, con buona precisione dimensionale; rivestimenti; scandole	Nordamerica nordoccidentale	12 Western Redcedar
molto ridotta; molto sensibile all'azzurramento	ridotta	Costr. interne ed esterne sottoposte a sollecitazioni ridotte, con buona precisione dimensionale; legno per modelli; legno di spessore, casse	Nordamerica orientale, coltivato in Europa	13 Pino bianco

Resistenza del durame		Applicazioni	Area di diffusione	Nome del legno
ai funghi	agli insetti			
molto elevata	molto elevata (resistente alle termiti)	Costruzioni sottoposte a forti sollecitazioni con grande precisione dimensionale; pavimentazioni; tavoli da laboratorio e da lavoro; costruzioni navali	Africa tropicale	14 Afzelia (Doussié)
ridotta, anche nei confronti dei funghi cromogeni	molto ridotta nei confronti degli insetti	Rivestimento di interni, mobili, falegnameria fine, oggetti di artigianato, strumenti musicali	Dall'Europa all'Asia minore	15 Acero
molto elevata	molto elevata	Costruzioni sottoposte a sollecitazioni elevate su terra e in acqua, ad esempio ponti, chiuse, rampe, parquet	Africa occidentale	16 Azobé (Bongossi)
molto ridotta; sensibile alle colorazioni fungine	ridotta	Impiallacciature esterne e di spessore; legno per tornitura; costruzioni sottoposte a sollecitazioni elevate (poco utilizzate); mobili; parquet	Europa, Asia settentrionale	17 Betulla
molto ridotta	ridotta	Costruzioni interne sottoposte a sollecitazioni da medie a elevate; parquet, legno per tornitura; traversine (impregnate); sfogliati; legname per uso industriale	Europa	18 Faggio
elevata	elevata	Statuette, manopole, tasti, strumenti a fiato, intarsi	Africa tropicale	19 Ebano
da elevata a molto elevata	elevata	Costruzioni interne ed esterne sottoposte a sollecitazioni medie; mobili massicci e impiallacciati	Europa meridionale e centrale	20 Castagno
elevata	elevata	Costruzioni interne ed esterne sottoposte a sollecitazioni; parquet; fusti di invecchiamento; qualità a crescita lenta; piallacci di copertura di alta qualità	Europa	21 Quercia
ridotta	ridotta	Costruzioni interne sottoposte a sollecitazioni elevate (esterne soltanto se impregnate); mobili massicci e impiallacciati; costruzioni navali, piallacci di copertura; traversine	Nordamerica, dal centro alla parte orientale	22 Quercia rossa d'America
ridotta	ridotta	Costruzioni esterne sottoposte a sollecitazioni elevate; arredamento, mobili, parquet; costruzione di vagoni, attrezzi sportivi; manici di attrezzi, piallacci di copertura	Europa, Asia occidentale	23 Frassino

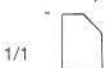
Tipi di legno: legno di latifoglie

Nome del legno	Colore del legno		Caratteristiche macroscopico-anatomiche	
	Alburno	Durame	Disposizione e dimensione dei pori, canali resiniferi ecc.	Fibratura, struttura, aspetto
24 Greenheart	Giallo verdognolo	Bruno verdognolo, in parte con striature localmente scure	Sparsi, di medie dimensioni	Zone di accrescimento non visibili; da semplice a decorativo
25 Keruing	Da grigio a bruno chiaro	Bruno-rosso, spesso con tonalità violetta, tendente a scurirsi nel bruno	Sparsi, grandi; presenza di canali resiniferi	Fibratura da dritta a leggermente incrociata; zone di accrescimento non distinguibili; semplice
26 Ciliegio	Bianco da giallognolo a rossiccio	Giallo pallido, in seguito bruno rossiccio con tendenza a scurirsi	Pori circolari; da piccoli a medi	Anelli ben visibili; molto decorativo
27 Limba	Alburno e durame non si distinguono chiaramente; da grigio a giallo verdognolo, il durame è spesso striato irregolarmente di grigio oliva o brunastro		Sparsi, grandi; talvolta con canali resiniferi traumatici	Solitamente a fibratura diritta, con possibilità di accrescimento incrociato e variazioni direzionali della fibratura; zone di accrescimento ben visibili e spesso ondulate; a seconda della tonalità, da semplice a decorativo
28 Tiglio	Alburno e durame si distinguono a malapena; da giallo biancastro a bianco rossiccio, talvolta brunastro chiaro		Sparsi, ma nel legno primaverile ammassamento di pori	Anelli poco distinguibili; semplice
29 Mogano Vero	Grigio	Bruno da chiaro a rosso, con tendenza a scurirsi molto	Sparsi, da grandi a medi, piccole linee trasversali sulla superficie longitudinale a causa della disposizione dei raggi a più livelli	A fibratura diritta o incrociata; zone di accrescimento poco visibili; decorativo
30 Mogano Sipo	Grigio rossiccio	Bruno rossiccio, con tendenza a scurirsi nel viola-bruno	Sparsi, da medi a grandi	A fibratura incrociata; zone di accrescimento riconoscibili; decorativo
31 Makorè	Da bianco rossiccio a rosa-grigio	Rosso chiaro, con tendenza al bruno	Sparsi, in gruppi radiali, medi	A fibratura diritta o ampiamente incrociata, spesso ondulata; zone di accrescimento poco distinguibili; decorativo
32 Meranti, rosso cupo	Da grigio giallognolo a grigio-rosa	Bruno rossiccio	Sparsi, grandi; canali resiniferi verticali in catene tangenziali	A fibratura leggermente incrociata; zone di accrescimento non riconoscibili; da semplice a decorativo
33 Meranti, rosso chiaro	Grigio giallognolo chiaro	Da bruno rossiccio chiaro a bruno-rosa, lucente	Come il Meranti rosso scuro, canali resiniferi poco marcati	A fibratura leggermente incrociata; zone di accrescimento non distinguibili; da semplice a decorativo
34 Merbau	Bianco giallognolo	Da bruno chiaro a bruno rossiccio, con tendenza a scurirsi (simile ad Afzelia)	Sparsi, grandi	A fibratura da leggermente a mediamente incrociata; zone di accrescimento riconoscibili; decorativo
35 Noce, europeo	Da grigio a bianco rossiccio	Bruno da grigio a scuro, spesso localmente striato o sfumato; più chiaro del noce americano; in parte venato di scuro	Pori circolari fitti, grandi nel legno primaverile, altrimenti medi	Talvolta con accrescimento trasversale o altre deviazioni della fibratura; anelli di accrescimento agevolmente identificabili; molto decorativo
36 Noce, americano	Da giallognolo chiaro a bruno-grigio	Bruno molto scuro con tonalità violetta; in parte venato di scuro	Pori circolari fitti, pori più grandi del noce europeo	Possibilità di deviazioni della fibratura, anelli di accrescimento marcati, molto decorativo
37 Palissandro	Bianco	Bruno-giallo, cioccolato o viola, con venature quasi nere	Sparsi, grandi	Zone di accrescimento poco marcate; a fibratura abbastanza diritta; fortemente striato o fiammato; molto decorativo
38 Robinia	Da giallo chiaro a giallo verdognolo	Da giallo verdognolo a giallo oliva, in seguito bruno dorato, lucente	Pori circolari, grandi	Limiti degli anelli di accr. marcati; ottenibili solo brevi tratti a fibratura diritta; fortemente marezzato; decorativo
39 Teak	Grigio	Giallo dorato, in seguito bruno da medio a scuro, spesso con strette venature nere; lucente	Pori circolari fitti, grandi nel legno primaverile	Zone di accrescimento marcate; assenza di fibratura intrecciata; striato o fiammeggiato da pori e venatura; molto decorativo
40 Olmo	Da grigio a bruno giallognolo	Bruno da chiaro a medio, con sfumatura rossiccia; lucente	Pori circolari, grandi nel legno primaverile	Zone di accrescimento ben visibili; fortemente marezzato da pori circolari; molto decorativo
41 Salice	Biancastro	Da brunastro chiaro a rossiccio chiaro, spesso con striature grigie; leggermente lucente	Sparsi, piccoli	Limiti degli anelli riconoscibili, meno strutturati; semplice
42 Wengè	Bianco-grigio	Bicolore; bruno chiaro e in seguito marrone e bruno-nero, lucido e opaco	Sparsi, grandi; sottili fasce trasversali a causa della disposizione a più livelli dei raggi	Zone di accrescimento non distinguibili, a fibratura intrecciata; fasce di tessitura che formano stirature o marezzature molto visibili; molto decorativo

Tipo di legno: legno di latifoglie

Resistenza del durame		Applicazioni	Area di diffusione	Nome del legno
ai funghi	agli insetti			
molto elevata	elevata	Costruzioni in acqua di mare; costruzioni interne ed esterne sottoposte a molte sollecitazioni; manici, canne da pesca	Sudamerica settentrionale, soprattutto Guyana	24 Greenheart
media	media	Costruzioni interne sottoposte a forti sollecitazioni; parquet, scale, pavimenti di vagoni	Asia tropicale	25 Keruing
da media a ridotta	da media a ridotta (soggetto ad Anobium)	Massiccio e impiallacciato per mobili e pannellature, strumenti musicali; legno per tornitura	Europa, coltivato in tutti gli altri continenti	26 Ciliegio
ridotta (particolarmente soggetto ad azzurramento)	ridotta (soggetto a Lyctus)	Costruzioni interne sottoposte a sollecitazione media; impiallacciature esterne e sfogliati; legno per arredamento, impiegato in particolare per l'interessante assortimento di colore e struttura	Africa occidentale	27 Limba
ridotta	ridotta	Legno per tornitura e da taglio; calzature di legno; cornici, giocattoli, piani di tavoli, legno di spessore e di riempimento	Europa	28 Tiglio
elevata	elevata	Legno per arredamento massiccio e impiallacciato; mobili, pannellature, costruzioni navali	Sudamerica centrale e settentrionale	29 Mogano Vero
elevata	elevata	Legno per arredamento, massiccio e impiallacciato; legno per costruzioni interne ed esterne, soggette a sollecitazione media, ottimo legno per infissi; scale, parquet, costruzioni navali	Africa tropicale	30 Mogano Sipo
molto elevata	molto elevata	Legno per arredamento massiccio e impiallacciato; legno da costruzione per interno ed esterno; mobili, parquet, scale, legno per impiallacciatura	Africa occidentale	31 Makorè
elevata	da media a elevata	Nell'assortimento Meranti occorre prestare attenzione alle grandi variazioni delle proprietà del legno. I gruppi a legno scuro (più pesanti) sono particolarmente adatti per costruzioni da interno ed esterno sottoposte ad alte sollecitazioni, in particolare infissi, porte, barche, panchine e così via. Il gruppo di legno Meranti definito chiaro (leggero) è utilizzabile per rivestimenti, massicci e impiallacciati, per mobili e costruzioni leggere	Sudest asiatico	32 Meranti, rosso cupo
media	media (spesso colpito da Lyctus)	Si veda Meranti rosso scuro	Sudest asiatico	33 Meranti, rosso chiaro
molto elevata	da elevata a molto elevata	Simile ad Afzelia	Sudest asiatico (Madagascar, Papua Nuova Guinea)	34 Merbau
da media a elevata	media	Legno per arredamento, massiccio e soprattutto impiallacciato, particolarmente pregiato (e costoso) in presenza di noduli. Il noce ha improntato gli stili dei mobili, così come il mogano, la quercia e il teak	Europa meridionale, Asia minore, India settentrionale	35 Noce, europeo
elevata	da media a elevata	Legno per arredamento massiccio ma soprattutto impiallacciato; mobili, rivestimenti; legno per tornitura; strumenti musicali, intarsi (come il noce europeo)	Regioni orientali dell'America del Nord	36 Noce, americano
molto elevata	molto elevata (resistente alle termiti)	Legno per arredamento, soprattutto impiallacciato (unito a smusso); legno speciale per manopole, dorsi di spazzole, oggetti torniti; strumenti a fiato	Brasile sudorientale	37 Palissandro
elevata	elevata	Legno da costruzioni interne ed esterne sottoposte a elevate sollecitazioni; scale, pavimentazioni; pali (anche non impregnato come il durame di quercia)	America del Nord sudorientale, coltivato anche in Europa	38 Robinia
molto elevata	molto e levata (resistente alle termiti)	Massiccio e impiallacciato come legno per arredamento, per mobili, rivestimenti, pavimentazioni; costruzioni interne ed esterne con elevata precisione dimensionale; costruzione navale, arredamento di laboratorio	Asia meridionale (coltivato nelle restanti regioni tropicali)	39 Teak
ridotta	ridotta	Legno per arredamento massiccio e impiallacciato, per interno; mobili, rivestimenti, parquet, oggetti torniti	Europa	40 Olmo
molto ridotta	molto ridotta	Legno industriale per pannelli di fibre, truciolari e compensato, cellulosa e carta; legno di spessore, casse, fiammiferi di legno	Europa	41 Salice
da elevata a molto elevata	elevata	Legno per arredamento massiccio e impiallacciato; mobili, parquet, rivestimenti, oggetti torniti e tagliati	Africa centrale (Camerun, Congo)	42 Wengè

Classificazione a vista[1] secondo la capacità portante[2], in conformità alla norma DIN 4074 parte 1, settembre 1989

Caratteri per la classificazione	Squadrati S 7[3]	Categorie S 10[3]	S 13[3]	Tavoloni, tavole e listelli segati S 7[3]	Categorie S 10[3]	S 13[3]
Smussi	Tutti e quattro i lati devono essere stati toccati dall'utensile di taglio per tutta la loro lunghezza	fino ad 1/3, in ogni sezione almeno 1/3 di ogni lato deve essere privo di smussi	fino a 1/8, in ogni sezione almeno 2/3 di ogni lato deve essere privo di smussi	Tutti e quattro i lati devono essere stati toccati dall'utensile da taglio per tutta la loro lunghezza	fino a 1/3, in ogni sezione almeno 1/3 di ciascun lato deve essere privo di smussi	fino a 1/8, in ogni sezione almeno 2/3 di ciascun lato deve essere privo di smussi
Nodi						
Nodo isolato	fino a 3/5	fino a 2/5 non superiore a 70	fino a 1/5 non superiore a 50	fino a 1/2	fino a 1/3 non sono ammessi nodi sul bordo secondo DIN 68.256, che si estendono per più di 1/3 della larghezza	fino a 1/5
Gruppi di nodi				fino a 2/3	fino a 1/2	fino a 1/3
Ampiezza anelli annuali						
– in generale	–	fino a 6	fino a 4	–	fino a 6	fino a 4
– nella douglasia	–	fino a 8	fino a 6	–	fino a 8	fino a 6
Inclinazione della fibratura	fino a 200 mm/m	fino a 120 mm/m	fino a 70 mm/m	fino a 200 mm/m	fino a 120 mm/m	fino a 70 mm/m
Fessurazioni						
– radiali, da ritiro (= fenditure da essiccazione)	ammesse	ammesse	ammesse	ammesse	ammesse	ammesse
– da fulmine, da gelo, da cipollatura	non ammesse	non ammesse	non ammesse	non ammesse	non ammesse	non ammesse
Colorazioni anomale						
– azzurramento	ammesso	ammesso	ammesso	ammesso	ammesso	ammesso
– striature rosse e marroni resistenti al chiodo	fino a 3/5 della sezione o della superficie	fino a 2/5 della sezione o della superficie	fino a 1/5 della sezione o della superficie	fino a 3/5 della sezione o della superficie	fino a 2/5 della sezione o della superficie	fino a 1/5 della sezione o della superficie
– carie rossa carie bianca	non ammessa	non ammessa	non ammessa	non ammessa	non ammessa	non ammessa
Legno di compressione	ammesso fino a 3/5 della sezione o della superficie	fino a 2/5 della sezione o della superficie	fino a 1/3 della sezione o della superficie	fino a 3/5 della sezione o della superficie	fino a 2/5 della sezione o della superficie	fino a 1/5 della sezione o della superficie
Attacchi di insetti	ammessi fori di insetti che attaccano il legno fresco, fino a un diametro di 2 mm					
Vischio	non ammesso	non ammesso	non ammesso	non ammesso	non ammesso	non ammesso
Deformazioni						
– longitudinali, svergolamento	fino a 15 mm/2 m	fino a 8 mm/2 m	fino a 5 mm/2 m	fino a 15 mm/2m	fino a 8 mm/2 m	fino a 5 mm/2 m
– imbarcamento, curvatura trasversale				fino a 1/20	fino a 1/30	fino a 1/50
Midollo				ammesso	ammesso	non ammesso

1) Nella norma DIN 4074 del settembre 1989 sono stati Inseriti anche i criteri per una classificazione a macchina.
2) Tavole e tavoloni sollecitati di fianco devono essere classificati come gli squadrati.

		Caratteri per la classificazione
La larghezza k dello smusso viene misurata in diagonale e indicata come frazione K della sezione maggiore $K = \frac{k}{h}$		**Smussi**
Squadrati È determinante il diametro visibile più piccolo del nodo più grande presente. Per i nodi tagliati vale l'altezza dell'arco (vedi disegno), se minore del diametro $A = \frac{d_1}{b}$ oppure $A = \frac{d_2}{h}$ oppure $A = \frac{d_3}{b}$ oppure $A = \frac{d_4}{h}$		**Nodi**
Tavole, tavoloni e listelli I nodi vengono misurati parallelamente allo smusso. La parte visibile su un lato interno di un nodo di smusso (vedi a_2 nel disegno) non viene considerata, se la dimensione del nodo presente sul lato stretto (a_3) riferita ad esso, non supera il valore ammissibile. Esempio di calcolo: – Nodo isolato: è presente solo 1 nodo (ad es. $a_{6/7}$ nel disegno a destra) $A = \frac{a_6 + a_7}{2b}$ – Gruppi di nodi: la nodosità A si ottiene dalla somma di tutte le superfici di sezione dei nodi, che si trovano compresi in una lunghezza di 150 mm, divisa per il doppio della larghezza b. $A = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7 + a_8 + a_9 + a_{10}}{2b}$		
L'ampiezza degli anelli viene misurata nella direzione radiale in mm. Per i segati che contengono il midollo si esclude un margine di 25 mm intorno al canale midollare.		**Ampiezza degli anelli annuali**
L'inclinazione della fibratura viene calcolata come deviazione "e" delle fibre su una lunghezza di 1000 mm. Le deviazioni locali delle fibre, prodotte ad esempio dai nodi, non vengono considerate.		**Inclinazione della fibratura**
– Le fessurazioni da fulmine e da gelo sono quelle che si sono verificate ad albero eretto. – La cipollatura indica le fessurazioni attorno agli anelli. – Le fenditure da ritiro (da essiccazione) sono fenditure in senso radiale che si formano a causa dell'essiccazione del legno sul tronco tagliato, ovvero sul legno segato.	Fessurazione da gelo Fessurazione da fulmine	**Fessurazioni**
– L'azzurramento viene causato dall'infestazione da funghi. Esso non ha alcun effetto sulle caratteristiche di solidità. – Le striature rosse e marroni sono causate dall'attacco di funghi. Fino a quando queste striature sono resistenti al chiodo, non vi è di regola una diminuzione della solidità. – La carie rossa e bianca indica una contaminazione avanzata da funghi. Questi tipi di carie si riconoscono per una colorazione anomala a chiazze e una ridotta durezza superficiale.		**Colorazioni anomale**
In dimensioni modeste il legno di compressione non influisce in modo determinante sulle caratteristiche di solidità, può tuttavia causare una considerevole deformazione a causa del marcato ritiro nel senso della lunghezza.		**Legno di compressione**
L'infestazione si riconosce sulla superficie del legno dalle tracce di fori di penetrazione.		**Attacchi di insetti**
Le radici del vischio lasciano buchi nel legno dell'albero ospite. I buchi (con diametro di circa 5 mm) sono raggruppati per lo più fittamente nei segati colpiti e causano quindi una fitta traforazione.		**Vischio**
– Lo svergolamento e la deformazione longitudinale vengono calcolati come altezza del segmento h sul punto di deformazione maggiore, riferiti a una lunghezza di 2000 mm. – L'imbarcamento viene calcolato come altezza del segmento h sulla larghezza del segato.		**Deformazioni**
Il midollo è il canale centrale del tronco all'interno del primo anello annuale.		**Midollo**

3) S indica la classificazione a vista, MS la classificazione a macchina. Le classi S7, S10, S13 ovvero MS 7, MS 10, MS 13 corrispondono alle precedenti classi di qualità III, II, I, previste dalla norma DIN 1052.

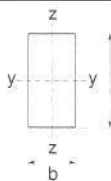
Legno strutturale per lavori di carpenteria, condizioni di qualità secondo la norma DIN 68.365, novembre 1957

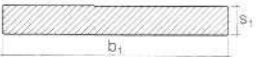
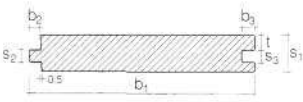
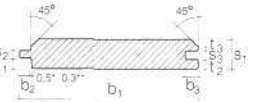
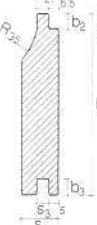
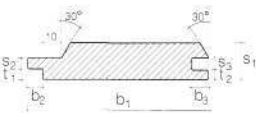
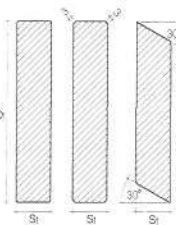
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Squadrati in legno di conifere SK = classe speciale NK = classe normale		*Tavole e tavoloni segati di classe* di qualità legno di conifere			*Assicelle e listelli segati* in legno di conifere Classe di qualità		*Tavole e tavoloni piallati in legno* di conifere Classe di qualità			*Segati e listelli piallati* di classe di qualità in legno di conifere	
	SK	NK	0	I	III	I	II	I	II	III	I	II
Smussi	Classe *di taglio S* na Classe di taglio A 1/8 Classe di taglio B 1/3 Classe di taglio C si, ma ogni lato refilato come minimo su tutta *la lunghezza* ad esempio 1/1 1/3		n.a.	a. misurata diagonalmente al massimo 1/4 dello *spessore* su 1/4 della lunghezza	a. misurata diagonalmente al massimo uguale allo *spessore* su 1/2 della lunghezza.	a. come colonna 5	a.	a. sul lato non piallato misurata diagonalmente al massimo 1/4 dello spessore su 1/4 della lunghezza			a. come colonne 9-11	a. come colonna 6
Colorazioni anomale di abete rosso, abete bianco e Douglasia	n.a.	a. striature marroni e rosse resistenti al chiodo	n.a.	a. leggera colorazione sporadica	a. cambiamento di colore della superficie fino al 40%	a. cambiamento di colore della superficie fino al 10%	a.	n.a.	a. come colonna 7	a. cambiamento di colore della superficie fino al 40%	n.a.	a. come colonna 7
del pino (le colonne 9 e 10 si riferiscono anche al pino bianco)	n.a.	a. blu	n.a.	a. sporadico azzurramento	a. blu	a. sporadico azzurramento	a. blu	n.a.	a. superficie azzurrata fino al 10%	a. blu	n.a.	a. come colonna 10
Nodi B = larghezza L = lunghezza D = diametro	n.a. difettosi e rimossi	n.a. difettosi	a. un nodo sano ogni ml, B ≤ 2 cm, L ≤ 5 cm n.a. nel pino	a. B ≤ 2 cm, L ≤ 5 cm	a. sani, sporadici, B ≤ 4 cm	a. D ≤ 2 cm, ab < 1/3 del relativo lato di sezione trasversale	a. D ≤ 1/2 del relativo lato di sezione trasversale	a. sani, B ≤ 2 cm, L ≤ 5 cm	a. sani, B ≤ 4 cm, L ≤ 8 cm	a. sani, sporadici, rimossi, D ≤ 2 cm	a. sani, D ≤ 2 cm ab. ≤ 1/3 del relativo lato di sezione trasversale	a. sani, D ≤ 2 cm, ab. ≤ 1/2 del relativo lato di sezione trasversale
Fenditure	n.a.	a. in misura minima	a. sporadiche, L ≤ larghezza delle tavole e dei tavoloni, non trasversali od oblique		a. L ≤ 1,5 della larghezza delle tavole e dei tavoloni	a. L ≤ larghezza delle assicelle o listelli	a. L ≤ 1,5 della larghezza dei segati e dei listelli	a. come colonne 4 e 5		a.	a. come colonna 7	a. come colonna 8
Attacchi di vermi e coleotteri	n.a.	a. attacchi superficiali di insetti	n.a.	n.a.	a. come colonna 3	n.a.	a. come colonna 3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Cipollatura	n.a.	a. in misura minima				n.a.	a. in misura minima					
Errori di piallatura e punti tassellati								n.a.	a. piccoli	a.	n.a.	a. piccoli

Carie rossa o bianca, vischio, fenditure nel durame, libro e scorza fondamentalmente non sono ammissibili.
La deformazione non è ammessa negli squadrati SK, negli squadrati NK 0,4 cm per ml.
La fibratura elicoidale non è ammessa per gli squadrati SK, mentre per gli squadrati NK è ammessa in misura minima.
a. = ammesso – n.a. = non ammesso

Legno lamellare incollato, condizioni di qualità e assicurazione di qualità

Nella valutazione delle proprietà materiali degli elementi costruttivi in legno lamellare occorre distinguere tra due punti di vista. Per quanto riguarda la resistenza secondo prova statica è significativo il rispetto della classe di qualità secondo la portata, mentre l'aspetto estetico viene influenzato dalle caratteristiche della superficie. **Le classi di qualità** secondo la portata sono stabilite dalla norma DIN 4074, parte 1, "Legno strutturale per elementi costruttivi in legno - Condizioni di qualità per legno lamellare incollato (legno di conifere)", e la sua applicazione per il legno lamellare è regolata dalla norma DIN 1052, parte 1, "Costruzioni in legno - Calcolo ed esecuzione". Quindi, ad esempio nella classe di qualità I, che è regolata come "Legno lamellare incollato con portata particolarmente elevata", per ogni singola tavola è consentito un indebolimento di sezione causato da un carico singolo del 20% oppure da un gruppo di nodi del 33%. Nel legno lamellare della classe di qualità I il rispetto di questi limiti è sufficiente nelle parti strutturali sollecitate da flessione per le singole lamelle che si trovano nella zona di trazione esterna, mentre per il resto viene tenuto conto della sezione di giunzione, per cui sono ammesse anche singole lamelle di classe di qualità ridotta. Per la valutazione pratica è importante chiarire che, ad esempio in una capriata larga 20 cm, un nodo del diametro di 4 cm nella zona di trazione corrisponde ancora alla classe di qualità I. Questo può dare l'impressione di una determinata grossa nodosità e portare a reclami ingiustificati. Per la valutazione della superficie dal punto di vista estetico per il legno lamellare non esistono norme. L'aspetto viene influenzato innanzitutto dalla nodosità, per la quale è determinante la classe di qualità secondo la norma DIN 4074, "Condizioni di qualità per il legno di conifere". Ulteriori opzioni sarebbero da concordare al momento dell'ordine, però sono difficili da soddisfare e restano in ogni caso limitati alla tavola più esterna. La planarità della superficie deve, salvo diversamente concordato, corrispondere innanzitutto alle misure ricavate dalla valutazione della resistenza. A tale scopo è sufficiente un livellamento dell'ampiezza dell'elemento strutturale, mentre le irregolarità di alcuni millimetri non sono significative. La tassellatura di nodi o punti mancanti sotto questo aspetto non è necessaria. Tra l'altro vanno tollerati anche azzurramento e macchie resinose. Particolari esigenze riguardanti la natura della superficie dal punto di vista estetico vanno quindi concordate separatamente.

Le fenditure da ritiro visibili sulla superficie delle parti in lamellare sono determinate dal materiale. Fino a una profondità di 1/6 circa della larghezza dell'elemento strutturale esse non pregiudicano la stabilità e quindi sono coperte dalle sollecitazioni ammissibili secondo la norma. La fabbricazione di legno lamellare è consentita soltanto alle ditte che hanno fornito il "certificato di idoneità all'incollaggio di elementi portanti di legno strutturale".

Legno per lavori di falegnameria, condizioni di qualità secondo la norma DIN 68.360 parte 1 e 2, maggio 1981

A	Caratteristiche	Legno per uso esterno da proteggere con verniciatura coprente (AD)	Legno per uso esterno da proteggere con verniciatura non coprente (AND)
1	Generalità	Il legno deve essere sano (privo di funghi xilofagi e insetti) e senza midollo.	
2	Superficie	La superficie deve essere piana. Ammesso: solo lieve sollevamento della fibratura. Non ammesso: tracce di segatura e segni di piallatura sulle superfici visibili dopo il montaggio, a meno che non sia prevista una particolare lavorazione della superficie.	
3	Differenze di colore	Ammesse	Ammesso: differenze di colore naturali, che vengono progressivamente uniformate attraverso il trattamento tecnico di verniciatura della superficie.
4	Azzurramento	Ammesso: azzurramento, ovvero lieve azzurramento allo stadio iniziale.	Ammesso: lieve azzurramento fino a progressiva uniformazione attraverso il trattamento tecnico di verniciatura della superficie.
5	Alburno	Ammesso: ad esempio per il pino o per altri tipi di legno simili per quanto riguarda le caratteristiche dell'alburno. Non ammesso: per tipi di legno il cui durame e alburno hanno caratteristiche essenzialmente diverse.	
6	Inclinazione della fibratura	Non ammesse: intreccio e deviazione della fibratura superiore ai 2 cm per m (misurazione secondo la norma DIN 52.181 e DIN 68.367).	
7	Fessurazioni longitudinali	Ammesse: piccole fessurazioni e fessurazioni con riparazione durevole, secondo l'andamento della fibratura, che non si protraggano e che non disturbino in seguito al trattamento della superficie.	
8	Fessurazioni trasv.	Non ammesse	
9	Tasche di resina e inclusioni di corteccia	Ammesse: tasche di resina larghe fino a 5 mm riparate in modo durevole e inclusioni di corteccia riparate che non disturbino in seguito a trattamento della superficie con procedimento di tipo AD e che, in caso di procedimento di tipo AND, concordino per quanto riguarda colore e tipo di legno con il legno in questione.	
10	Smussi	Ammessi: senza corteccia nei punti non più visibili dopo il montaggio.	
11	Punti di attacchi da insetto	Non ammessi: eccetto singoli attacchi da insetti di diametro fino a 2 mm da parte di insetti di legno giovane.	
12	Nodi a) nodi non riparati	Ammessi: nodi a punto (fino a 5 mm di diametro) così come nodi che si sono sviluppati normalmente, che non compromettano la stabilità e l'idoneità all'impiego della parte in questione. *Nota: La stabilità e l'idoneità all'impiego possono essere compromesse quando ad esempio il diametro del nodo più grosso è superiore a ⅓ della larghezza di una parte, ad esempio di un telaio.*	
	b) nodi tassellati	I tasselli devono essere incollati interamente alla relativa trave. L'incollaggio deve corrispondere al settore di impiego della parte secondo il gruppo di impiego B3 oppure B4 secondo la norma DIN 68.602. Ammessi: tasselli fino a 25 mm di diametro e tassellature concatenate con un massimo di due tasselli.	Ammessi: tasselli fino a 25 mm di diametro.

I	Caratteristiche	Legno per uso esterno da proteggere con verniciatura coprente (ID)	Legno per uso esterno da proteggere con verniciatura non coprente (IND)
1	Generalità	Il legno deve essere sano (privo di funghi e insetti xilofagi) e le parti visibili dopo l'installazione devono essere prive di canali midollari.	
2	Superficie	La superficie deve essere piana e levigata. Non sono ammesse tracce di segatura o segni di piallatura sulle parti visibili dopo l'installazione, a meno che non sia stata concordata una determinata lavorazione della superficie, come ad esempio spazzolatura, sabbiatura o fiammatura.	
3	Differenze di colore	Ammesse	Ammesso: azzurramento, ovvero lieve azzurramento allo stadio iniziale.
4	Azzurramento	Ammesso: differenze di colore naturali, a meno che non sia stata concordata una determinata selezione di colore.	Non ammesso: nelle superfici che restano visibili. Ammesso l'azzurramento delle superfici non visibili.
5	Alburno	Ammesso: ad esempio per il pino o per altri tipi di legno simili per quanto riguarda le caratteristiche dell'alburno. Non ammesso: per tipi di legno il cui durame e alburno hanno caratteristiche essenzialmente diverse.	
6	Inclinazione della fibratura	Non ammesse: intreccio e deviazione della fibratura superiore ai 2 cm per m (misurazione secondo la norma DIN 52.181).	
7	Fessurazioni longitudinali	Ammesse: piccole fessurazioni e fessurazioni con riparazione durevole*), secondo l'andamento della fibratura, che non si protraggano e che non disturbino in seguito al trattamento della superficie.	
8	Fessurazioni trasv.	Non ammesse	
9	Tasche di resina/zone resinose	Ammesse: tasche di resina riparate in modo durevole*) fino al fondo. Non ammesse: zone di resina	Ammesse: tasche di resina se riparate in modo durevole *) e non riconoscibili sulle superfici visibili. Non ammesse: zone di resina
10	Inclusioni di corteccia	Ammesse: quando sono riparati in modo durevole*). La corteccia va rimossa anche nelle parti non visibili.	Non ammesse
11	Smussi	Ammessi: senza corteccia nei punti non più visibili dopo il montaggio.	
12	Punti di attacchi da insetto	Non ammessi: eccetto singoli attacchi da insetti di diametro fino a 2 mm da parte di insetti di legno giovane.	Non ammessi
13	Nodi a) nodi non riparati	Ammessi: solo nodi sani, così come nodi che si sono sviluppati normalmente, che non compromettano la stabilità e l'idoneità all'impiego della parte in questione. *Nota: La stabilità e l'idoneità all'impiego possono essere compromesse quando il diametro del nodo più grosso è superiore a ⅓ della larghezza di una parte.*	Non ammessi: nodi alati e nodi scuri, ad esempio sulla parte frontale e sulle superfici visibili dei mobili.
	b) nodi tassellati	I tasselli devono essere incollati sull'intera superficie. L'incollaggio deve corrispondere al settore di impiego della parte secondo il gruppo B2-B4 (norma DIN 68.602). Ammessi: tasselli fino a 25 mm di diametro e tassellature concatenate con un massimo di tre tasselli.	Non ammessi: su parti frontali e sup. visibili di mobili e sup. esterne di rivestimenti di pareti e soffitti.

*) In modo durevole qui significa riparare con legno che è completamente incollato anche sui bordi. L'incollaggio deve corrispondere al campo di applicazione della parte secondo il gruppo di impiego B3 o B4 conformemente alla norma DIN 68.602.

Legno di conifere, quote di sezione e valori statici secondo DIN 4070 foglio 2, ottobre 1963

Segni e formule relativi ai valori statici

$y - y$ = asse Y
$z - z$ = asse Z
b = larghezza in cm
h = altezza in cm
$F = b \cdot h$ = superficie in cm²

- Legno squadrato di magazzino.
- Le sezioni con buona utilizzazione statica possiedono b/h ≈ 1:2.
- L'indicazione dell'asse verticale con z e di quello orizzontale con y corrisponde all'indicazione assiale conforme alla norma DIN 1052, aprile 1988.

$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6}$ = momento resistente in cm³, riferito all'asse Y

$W_z = \frac{h \cdot b^2}{6}$ = momento resistente in cm³, riferito all'asse Z

$J_y = W_y \cdot \frac{h}{2} = \frac{b \cdot h^3}{12}$ = momento di inerzia in cm⁴, riferito all'asse Y

$J_z = W_z \cdot \frac{b}{2} = \frac{h \cdot b^3}{12}$ = momento di inerzia in cm⁴, riferito all'asse Z

$i_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}}$ = raggio d'inerzia in cm, riferito all'asse Y

$i_z = \sqrt{\frac{J_z}{F}}$ = raggio d'inerzia in cm, riferito all'asse Z

Sezione b/h cm/cm	Superficie trasversale F cm²	Peso longitudinale G_L (con γ = 600 kg/m³) kg/m	W_y cm³	J_y cm⁴	W_z cm³	J_z cm⁴	i_y cm	i_z cm
6/ 6*	36	2,16	36	108	36	108	1,73	1,73
6/ 8*	48	2,88	64	256	48	144	2,31	1,73
6/10	60	3,60	100	500	60	180	2,89	1,73
6/12*	72	4,32	144	864	72	216	3,46	1,73
6/14	84	5,04	196	1372	84	252	4,04	1,73
6/16	96	5,76	256	2044	96	288	4,62	1,73
6/18	108	6,48	324	2916	108	324	5,20	1,73
6/20	120	7,20	400	4000	120	360	5,77	1,73
6/22	132	7,92	484	5324	132	396	6,36	1,73
6/24	144	8,64	576	6910	144	432	6,94	1,73
8/ 8*	64	3,84	85	341	85	341	2,31	2,31
8/10*	80	4,80	133	667	107	427	2,89	2,31
8/12*	96	5,76	192	1152	128	512	3,46	2,31
8/14*	112	6,72	261	1829	149	597	4,04	2,31
8/16*	128	7,68	341	2731	171	683	4,62	2,31
8/18	144	8,64	432	3888	192	768	5,20	2,31
8/20	160	9,60	533	5333	213	853	5,77	2,31
8/22	176	10,56	645	7099	235	939	6,35	2,31
8/24	192	11,52	768	9216	256	1024	6,94	2,31
8/26	208	12,48	901	11715	277	1109	7,51	2,31
10/10*	100	6,00	167	833	167	833	2,89	2,89
10/12*	120	7,20	240	1440	200	1000	3,46	2,89
10/14	140	8,40	327	2287	233	1167	4,04	2,89
10/16	160	9,60	427	3413	267	1333	4,62	2,89
10/18	180	10,80	540	4860	300	1500	5,20	2,89
10/20	200	12,00	667	6667	333	1667	5,77	2,89
10/22	220	13,20	807	8873	367	1833	6,35	2,89
10/24	240	14,40	960	11520	400	2000	6,93	2,89
10/26	260	15,60	1127	14647	433	2167	7,51	2,89
12/12	144	8,64	288	1728	288	1728	3,46	3,46
12/14	168	10,08	392	2744	336	2016	4,04	3,46
12/16	192	11,52	512	4096	384	2304	4,62	3,46
12/18	216	12,96	648	5832	432	2592	5,20	3,46
12/20*	240	14,40	800	8000	480	2880	5,77	3,46
12/22	264	15,84	968	10648	528	3168	6,35	3,46
12/24	288	17,28	1152	13824	576	3456	6,93	3,46
12/26	312	18,72	1352	17576	624	3744	7,51	3,46
14/14*	196	11,76	457	3201	457	3201	4,04	4,04
14/16*	224	13,44	597	4779	523	3659	4,62	4,04
14/18	252	15,12	756	6801	588	4116	5,20	4,04
14/22	308	18,48	1129	12422	719	5031	6,35	4,04
14/28	392	23,52	1829	25611	915	6403	8,08	4,04
16/16*	256	15,36	683	5461	683	5461	4,62	4,62
16/18*	288	17,28	864	7776	768	6144	5,20	4,62
16/20*	320	19,20	1067	10667	853	6827	5,77	4,62
16/24	384	23,04	1536	18432	1024	8192	6,93	4,62
16/30	480	28,80	2400	36000	1280	10240	8,66	4,62
18/18	324	19,44	972	8784	972	8748	5,20	5,20
18/20	360	21,60	1200	12000	1080	9720	5,78	5,20
18/22*	396	23,76	1452	15972	1188	10692	6,35	5,20
18/26	468	28,08	2028	26364	1404	12636	7,51	5,20
18/30	540	32,40	2700	40500	1620	14580	8,66	5,20
20/20*	400	24,00	1333	13333	1333	13333	5,77	5,77
20/24*	480	28,80	1920	23040	1600	16000	6,93	5,77
20/30	600	36,00	3000	45000	2000	20000	8,66	5,77
22/22°	484	29,04	1775	19520	1775	19520	6,35	6,35
22/26	572	34,32	2480	32223	2097	23071	7,51	6,35
22/30	660	39,60	3300	49500	2420	26620	8,66	6,35
24/24	576	34,56	2304	27648	2304	27648	6,93	6,93
24/30	720	43,20	3600	54000	2880	34560	8,66	6,93
26/26	676	40,56	2929	38081	2929	38081	7,51	7,51
28/28	784	47,04	3659	51221	3659	51221	8,08	8,08
30/30	900	54,00	4500	67500	4500	67500	8,66	8,66

Quota del profilo, lunghezze e tolleranze secondo DIN

Legnami europei (e) Legnami nordici (n) Legnami d'oltremare (o)		Spessore tavola s_1	Spessore linguetta s_2	Larghezza scanalatura s_3	Spessore sopra a scanalatura e linguetta t	Spessore sotto alla linguetta t_1	Spessore sotto alla scanalatura t_2	Spessore pannello superiore t_3	Larghezze tavola b_1	Larghezza linguetta b_2	Profondità scanalatura b_3	Lunghezze tavola l
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Tavole e tavoloni non piallati DIN 4071 parte 1	e	16, 18, 22, 24, 28, 38 ±1 44, 48 ±1,5 50, 63, 70, 75 ±2							75, 80 ±2 100, 115, 120, 125, 140, 150, 160, 175 ±3 180, 200, 220, 225, 240, 250, 260, 275, 280, 300 ±3			da 1500 a 6000 +50 −25 Graduazione 250 300
Tavole e tavoloni piallati DIN 4073 parte 1	e	13,5, 15,5, 19,5 ±0,5 25,5, 35,5, 41,5, 45,5 ±1										
	n	9,5, 11, 12,5, 14, 16, 19,5 ±0,5 22,5, 25,5, 28,5, 40, 45 ±1										
Tavole perlinate DIN 4072	e	15,5, 19,5 ±0,5 25,5, 35,5 ±1	4 6 6 8	4,5 6,5 6,5 8,5	7 8 11 13				95, 115 ±1,5 135, 155 ±2	6	7	da 1500 a 4500 graduazione 250 da 4500 a 6000 graduazione 500 +50 −25
	n	19,5 ±0,5 22,5, 25,5 ±1	6 6 6	6,5 6,5 6,5	8 10 11				96, 111 ±1,5 121 ±2	6	7	da 1800 a 6000 +50 −25 graduazione 3000
Tavole smussate DIN 68.122	e	15,5, 19,5 ±0,5	4 6	4,5 6,5		5,5 6	5 5,5	2 4	95, 115 ±1,5	6	7	da 1500 a 4500 graduazione 250 da 4500 a 6000 graduazione 500 +50 −25
	n	12,5 ±0,5	4	4,5		4	3,5	2	96, 111 ±1,5	6	7	da 1800 a 6000 +50 −25 graduazione 3000
Listone per tavolato con risvolto DIN 68.123	e	19,5 ±0,5	6	4,5					115 ±1,5 135, 155 ±2	8 10 10	8,5 10,5 10,5	da 1500 a 4500 graduazione 250 da 4500 a 6000 graduazione 500 +50 −25
	n	19,5 ±0,5	6	6,5					111 ±1,5 121, 146 ±2	8 8 10	8,5 8,5 10,5	da 1800 a 6000 +50 −25 graduazione 300
Tavole con maschiatura e scuretto DIN 68.126	e	12,5, 15,5 ±0,5[1] 19,5 −1[1]	4 4 6	4,5 4,5 6,5		4 4,5 5,5	3,5 4 5		96, 115 −1[1]	8 8	9 9	da 1500 a 4500 graduazione 250 da 4500 a 6000 graduazione 500 +50 −25
	n	12,5, 14, 19,5 −0,5[1]	4 4 6	4,5 4,5 6,5		4 4,5 5,5	3,5 4 5		71, 96 −1[1] 146 −2[1]	8 8 10	8,5 8,5 10,5	da 1800 a 6000 +50 −25 graduazione 300
	o	9,5, 11, 12,5 −0,5[1]	3 3 4	3,5 3,5 4,5		3,5 3,5 4	3 3 3,5		69, 94 −2[1]	6 6	7 7	da 1830 a 6100 +50 −25 graduazione 300 circa
Tavole da balcone DIN 68.128	e	26 ±1							150, 190 ±2			da 1500 a 4500 graduazione 250 da 4500 a 6000 graduazione 500 +50 −25
	n	27 ±1							143, 193 ±2			da 1800 a 6000 +50 −25 graduazione 300
	o	26 ±1							140, 190 ±2			da 1830 a 6100 +50 −25 graduazione 300 circa

[1] Ammessi scostamenti solo verso ii basso

Materiali derivati dal legno

Con il termine materiali derivati dal legno s'intendono elementi di grande superficie, fatti a forma di pannello, che vengono realizzati mediante incollaggio, giunzione e iniezione a caldo con indurimento dell'adesivo, di sfogliati, aste, listelli, lana di legno, trucioli, fibre e/o altre materie prime fibrose contenenti cellulosa di legno. La struttura modificata dei materiali derivati dal legno consente un miglioramento di determinate qualità proprie del legno massiccio. La frantumazione e la connessione portano a una riduzione delle proprietà del legno che dipendono dalla direzione, cosicché i materiali derivati dal legno presentano rispetto al legno massiccio ridotte dispersioni di proprietà e una isotropia estesa sul piano dei pannello (ossia proprietà uguali in tutte le direzioni del piano del pannello). Essi consentono quindi un vasto campo di applicazione.

Utilizzando componenti diversi e adottando svariati principi strutturali vengono prodotti numerosi tipi di pannelli, le cui proprietà sono adatte per specifici campi d'applicazione.

Classi dei materiali derivati dal legno

Le classi dei materiali derivati dal legno sono contraddistinte dal grado di resistenza all'umidità (resistenza meccanica dei pannelli nonostante l'aumentata umidità, eventualmente resistenza agli attacchi di funghi):

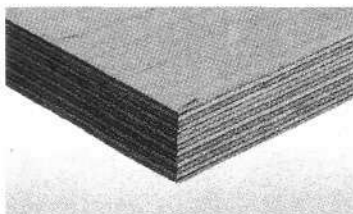
- HWS-KI. 20 (Classe 20): questo tipo di materiale derivato dal legno può venire impiegato quando l'inumidimento del pannello è assente oppure presente soltanto in misura tale che un aumento del contenuto di umidità è di breve durata e in nessun punto viene superato il 15% di umidità;
- HWS-KI. 100 (Classe 100): può venire utilizzato quando, in base alle condizioni climatiche, è possibile un contenuto di umidità più elevato a lungo termine ovvero un inumidimento del pannello a breve termine, a patto che il contenuto di umidità del pannello non superi in nessun punto il 18% e l'umidità addizionale penetrata possa fuoriuscire dal pannello;
- HWS-KI. 100 G (Classe 100 G): può venire impiegato quando, in base alle condizioni climatiche a lungo termine, è possibile un maggiore contenuto di umidità ovvero un inumidimento del pannello e l'umidità penetrata può fuoriuscire soltanto in un periodo di tempo più lungo.

Dalla definizione dei campi di applicazione risulta che per l'utilizzo esterno si possono considerare soltanto le classi 100 e 100 G. Un'esposizione diretta agli agenti atmosferici va quindi impedita mediante un'adeguata protezione durevole.

Struttura/procedimento di fabbricazione

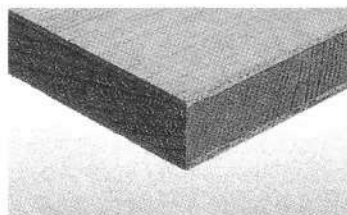
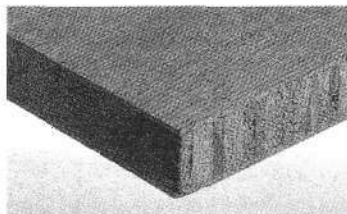
Legno lamellare

- Strati di sfogliato spessi fino a 3 mm circa.
- La fibratura di tutti gli strati è in senso longitudinale, nelle larghezze maggiori vengono impiegati anche strati trasversali per aumentare la stabilità.
- Gli sfogliati in legno di conifere essiccato vengono incollati, riuniti e pressati. L'indurimento della colla avviene tramite calore.

Compensato multistrato

Compensato multistrato

- Struttura simmetrica composta da un numero di fogli di piallaccio dispari (a partire da tre strati), in caso di numero di fogli pari, i due fogli interni vengono disposti paralleli alla fibratura (il compensato multistrati con almeno cinque strati e spessori superiori a 12 mm viene chiamato anche pannello multiplex).
- Le direzioni delle fibrature sono ruotate reciprocamente in modo perpendicolare.
- Gli sfogliati essiccati vengono incollati, riuniti e pressati, quindi la colla viene indurita nella pressa tramite calore.

Compensato a liste e listelli

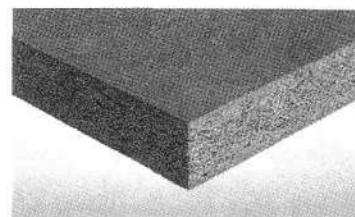
- Viene realizzato incollando almeno uno sfogliato dì copertura su ogni lato e un foglio centrale sui listelli di legno disposti uno accanto all'altro (solitamente abete rosso).
- Gli strati sono disposti perpendicolarmente fra loro.
- Sui due lati dello strato centrale è posto uno sfogliato di copertura (pannello a tre strati) oppure uno strato di isolante e uno sfogliato di copertura (pannello a cinque strati).
- L'anima del compensato a liste è formata da liste di legno massiccio segate larghe da 24 a 30 mm circa.
- L'anima del compensato a listelli è costituita da strisce di sfogliato disposte a coltello con uno spessore compreso tra 5 e 8 cm.

Compensato a liste

Compensato a listelli

Legno compensato, altre indicazioni

- Gli sfogliati, ovvero i tranciati vengono impiegati come superfici decorative (la qualità dello sfogliato di copertura nel compensato per uso comune è un criterio importante per la suddivisione nei tipi di pannelli standardizzati).
- Struttura omogenea: tutti i fogii di un pannello sono composti dallo stesso tipo di legno.
- Struttura eterogenea: i fogli sono composti da tipi di legno diversi.
- Ulteriori passaggi per la produzione di pannelli speciali: impregnazione degli sfogliati con prodotti protettivi contro l'attacco di parassiti (pannelli della classe dei materiali derivati dal legno 100 G conformemente alla norma DIN 68.705 parte 3, 5), applicazione di prodotti ignifughi (pannelli della classe di materiale strutturale B1 conformemente alla norma DIN 4102) e di resina sintetica per creare legno pressato con resina sintetica idrofoba secondo DIN 7707; compressione di sfogliati per esigenze di massima resistenza, fabbricazione di legni pressati con resine sintetiche ad alta compressione (densità fino a 1400 kg/m^3); pressatura di pezzi stampati, fabbricazione di pezzi stampati di compensato con presse speciali.

Pannelli di particelle

Pannelli di particelle pressati piani legati con resine sintetiche

- Trucioli di legno tondo o legno per uso industriale.
- Orientamento dei trucioli parallelo al piano del pannello.
- Pannelli monostrato: materiale truciolare incollato, distribuito senza separazione, vengono prodotti soltanto in quantità ridotte per utilizzazioni di secondaria importanza.
- Pannelli multistrato (fabbricazione solitamente sotto forma di pannelli a tre o cinque strati): nei pannelli a tre strati si ha il rivestimento dell'anima a particelle grossolane tramite strati di copertura a struttura fine, mentre nei pannelli a cinque strati ve ne sono di addizionali che si trovano tra l'anima e gli strati di copertura.
- I trucioli aspersi di legante vengono estrusi mediante calandratura in forme a uno o più strati, e vengono pressati con presse idrauliche riscaldate (presse piane multivano) per ottenere pannelli di particelle. Infine, i pannelli pronti vengono rifiniti con squadratura dei bordi e levigatura.
- Nei pannelli di particelle pressati piani con granulometria progressiva: distribuzione separata delle particelle mediante la quale quelle grossolane si trovano al centro della sezione del pannello, mentre verso la superficie le particelle hanno una struttura progressivamente più fine.

Pannello di particelle pressato piane

- Più del 95% di tutti i pannelli di particelle viene prodotto con il procedimento di pressatura in piano.

Altre indicazioni

- I pannelli monostrato (a parte i tipi speciali) contengono particelle più grosse, mentre in quelli multistrato e in quelli con passaggio costante nella struttura del truciolo gli strati esterni sono composti quasi sempre da particelle relativamente fini, cosicché in caso di successivo rivestimento la struttura delle particelle non diventa visibile; per motivi di fabbricazione e tecnica di lavorazione l'anima in genere

deve essere composta da particelle più grossolane (tra l'altro a causa della leggera evaporazione che sì verifica durante la pressatura o la successiva impiallacciatura).
• La finezza della struttura delle particelle dello strato di copertura dipende dall'uso; i pannelli di particelle per l'edilizia contengono spesso particelle dello strato di copertura più piatte (miglioramento della resistenza alla flessione e del modulo di elasticità), mentre per la costruzione di mobili vengono richieste superfici con particelle fini.
• La distribuzione delle particelle avviene secondo due procedimenti: la distribuzione a vaglio, impiegata per strati omogenei, consente una distribuzione separata delle particelle e quindi la fabbricazione di strati di particelle eterogenei. La distribuzione sparsa, invece, permette strati ovvero pannelli con legame continuo nella struttura delle particelle.

Pannelli di particelle a estrusione legati con resine sintetiche
• Orientamento delle particelle prevalentemente verticale al piano del pannello.
• I pannelli di particelle a estrusione non rivestiti vengono in genere fabbricati come pannelli monostrato.
• I pannelli di particelle a estrusione rivestiti hanno lo strato di rivestimento costituito da sfogliati, pannelli di fibre dure, materiali multistrato o sintetici contenenti fibre di vetro.

Pannello di particelle estruso

• Le particelle imbevute di legante vengono distribuite in un contenitore riscaldato, a forma di pannello, in genere disposto verticalmente (impianto di calandratura), e tamponate con un punzone a funzionamento ciclico; capovolgendo il contenitore riscaldato le particelle vengono incollate su un pannello continuo, che viene tagliato a misura dopo la pressatura.

Altre indicazioni
• Disponendo longitudinalmente tubi nella cassaforma è possibile realizzare pannelli di particelle cavi, che nella zona centrale della sezione del pannello presentano cavità tubolari.

Pannelli di particelle legate con leganti minerali
• Miscela ad alta compressione, composta per il 25% circa del peso da particelle di legno e per il 65% da leganti minerali (cemento Portland, legante alla magnesite, gesso), acqua, additivi (acceleratori di indurimento) ed eventualmente materiali inerti.
• Preparazione in miscelatori per ottenere una miscela umida, quindi formatura in caso di pannelli di particelle legati con cemento, pressatura a freddo del pacco, sformatura dopo 24 ore, completo indurimento dopo 28 giorni; in caso di utilizzo di leganti di magnesite tramite indurimento, a seconda della temperatura, sono possibili tempi di pressatura notevolmente ridotti (a 180 °C: per pannello di spessore di 20 mm, tempo di pressatura 10 minuti).

Pannelli di fibre
• Di regola struttura uniforme, tenuta strutturale ottenuta essenzialmente tramite feltratura delle fibre e azione adesiva delle forze leganti proprie del legno o dì collanti aggiunti.
• I frammenti di legno (legno tondo debole e residui di legno delle segherie: sciaveri, schegge) vengono ammorbiditi con vapore a una temperatura di oltre 170 °C, quindi sfibrati meccanicamente tra mole rotanti; le parti grossolane residue vengono selezionate e ulteriormente frantumate.
• La natura e le proprietà dei pannelli di fibre dì legno sono determinate dal tipo di procedimento di fabbricazione.

Procedimento per via umida
• Trasformazione delle fibre con acqua e aggiunta di prodotti leganti, eventualmente idrofobi e protettivi in una sorta di poltiglia, macinatura a seconda del tipo e della qualità di pannello desiderati; dopo ulteriore diluizione con acqua si formano materassi di fibre continui di grammatura prestabilita su un vaglio longitudinale con movimento continuo in avanti e applicazione dìretta dì ulteriori strati di copertura di materiale preparato in modo particolare, quindi eliminazione dell'acqua contenuta con l'ausilio di cilindri di pressa e dispositivi di vuoto, infine taglio del materasso di fibre in lunghezze desiderate.
• Fabbricazione di pannelli di fibre di legno duri tramite posa del materasso di fibre su lastre di trasporto di formato adeguato o telai dotati di rete a maglie, compressione e indurimento in una pressa riscaldata per molti giorni, di regola successivo indurimento di più ore a una temperatura di circa 160 °C, in seguito nuovo inumidimento al 6-8%.
• Fabbricazione di pannelli di fibre di legno porosi tramite convogliamento del materasso di fibre in canali di essiccazione; essiccazione fino al raggiungimento della necessaria umidità; dopo il raffreddamento impilamento sotto forma di pannelli sufficientemente rigidi.

Procedimento per via semisecca
• Formatura di un materasso continuo ottenuto per via secca con fibre precedentemente bagnate con colla di resina fenolica mediante speciali aspersori, spruzzatura con acqua e pressatura nel modo descritto per i pannelli duri.

Procedimento per via secca
• Aspersione di quanto sopra con bagnate di resina ureica analogamente al procedimento per via semisecca; viene soppresso l'inumidimento del materasso di fibre.
• Praticamente limitato alla fabbricazione di pannelli di tipo medio duro.

Ulteriori indicazioni
• Per ottenere una superficie particolarmente compatta si può anche applicare uno strato di fibre fini o di altro tipo sul lato superiore del pannello.

Pannelli da costruzione leggeri in lana di legno
• Miscela poco compatta di lana di legno e leganti minerali.
• Pressatura dei pannelli con pressione ridotta.

Pannelli da costruzione leggeri multistrato
• Pannelli in materiale espanso con rivestimento su un lato (pannello a due strati) o due lati (pannello atre strati) in lana di legno legata con sostanze minerali.

Nuovi tipi di pannelli

Pannelli OSB
(Oriented Strana Board)
• Pannelli di particelle con trucioli grandi, relativamente lunghi e orientati, chiamati *strand.*
• Orientamento delle particelle ottenuto mediante speciali dispositivi di distribuzione longitudinalmente o trasversalmente alla direzione di fabbricazione del pannello; nel caso di struttura a tre strati, orientamento delle particelle dell'anima solitamente trasversale, e delle particelle dello strato di copertura parallelo alla direzione di fabbricazione.
• Parallelamente alla direzione prevalente delle particelle si hanno valori di resistenza molto elevati.

Pannelli MDF
{Medium Densìty Fibreboard)
• In presse piane vengono fabbricati pannelli di fibre di media massa volumica con procedimento per via secca. Le fibre vengono essiccate in misura maggiore che nei pannelli di media durezza.
• Struttura contemporaneamente fine e fitta su tutta la sezione.
• I pannelli possono venire lavorati e rivestiti come il legno massiccio.

Tipi di pannelli secondo le norme DIN

Gruppo materiale	Tipo di pannello	Sigla di tipo	DIN	Classe materiale[1]	Grado di umidità: Consegna franco fabbrica[2]	Grado di umidità: Condizione di impiego[3]	Leganti[4]	Misure preferenziali in mm: Spessore	Larghezza	Lunghezza
Legno multistrato	Legno multistrato per piallacci	–	Nessuna norma DIN. Ammissione secondo le norme di costruzione				KPF	27, 33, 39, 45, 51, 57, 63, 69, 75	200, 225, 260, 300, 360, 400, 450, 500, 600, da 900 a 1800	fino a 24.000
Pannello compensato	Pannello compensato per piallaccio strutturale	BFU 20	68.705 T. 3, 12/81	20	5-15	15	KUF	4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 20, 22, 25, 30, 35, 40, 50	1220, 1250, 1500, 1530, 1700, 1830, 2050, 2440, 2500, 3050	1220, 1250, 1500, 1530, 1830, 2050, 2200, 2440, 2500, 3050
		BFU 100		100		18	KPF, KRF, PRF			
		BFU 100 G		100 G		21				
	Pannello compensato per piallaccio strutturale in faggio	BFU-BU 100	68.705 T. 5, 10/80	100	5-15	18	KPF, KRF, PRF			
		BFU-BU 100 G		100 G		21				
	Pannello compensato a liste da costruzione	BST 20/BSTAE 20	68.705 T. 4, 12/81	20	5-15	15	KUF	13, 16, 19, 22, 25, 28, 30, 38	2440, 2500, 3500, 5100, 5200, 5400	1220, 1530, 1830, 2050, 2500, 4100
	Pannello compensato a listelli da costruzione	BST 100/BSTAE 100		100		18	KPF, KRF, PRF			
		BST 100 G/BSTAE 100 G		100 G		21				
	Pannelli di rivestimento in compensato a liste e listelli	SST/SSTAE	68.791, 3/79	Specialmente adatto ai requisiti delle costruzioni in cemento	≥ 7					
	Pannelli di rivestimento in fogli di compensato	SFU	68.792, 3/79							
	Compensato sfogliato	FU (IF, AW)[5]	68.705 Bl. 1, 1/68, T. 2, 7/81		≥ 12		Tutti i collanti che soddisfano i requisiti della norma DIN 68.705 parte 2	s. BFU	s. BFU	s. BFU
	Compensato raggiato	SN (IF, AW)[5]								
	Compensato a liste	ST (IF, AW)[5]						s. BST/BSTAE	s. BST/BSTAE	s. BST/BSTAE
	Compensato a listelli	STAE (IF, AW)[5]								
	Compensato rigato	(SR)								
Pannelli di particelle	Pannelli pressati piani per l'edilizia	V 20	68.763, 7/80	20	5-13	15	KUF	6, 8, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 60, 70	1250–2600	3500–20000
		V 100		100		18	KPF, KRF			
		V 100 G		100 G		21	KPF, KRF			
	Pannelli pressati piani per uso comune	FPY	68.761 T. 1, 11/86							
	Pannelli pressati piani per uso comune	FPO	68.761 T. 4, 2/82		5-11		KUF			
	Pann. press. piani con laminatura di plastica	KF	68.765, 11/87							
	Pannelli pressati estrusi, pannelli pieni e pannelli cavi	SV/SR	68.764 Bl. 1, 9/73	20[6]	5-13	15[6]	KUF	6, 8, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 60, 70		
	Pannelli pressati estrusi rivestiti per l'edilizia	SV 1/SR 1 SV 2/SR 2		20[6] 100[6]		15[6] 18[6]	KUF KUF, KMF, KPF			
	Pannelli pressati estrusi rivestiti per costruzioni a pannelli	TSV 1 TSV 2	68.764 Bl. 2, 9/74	20[6] 100[6]		15[6] 18[6]	KUF KUF, KMF, KPF			
	Pannelli pressati piani leggeri	LF	68.762, 3/82		5-13		KUF			
	Pann. press. estrusi, pann. scanalati	LR								
	Pann. press. estrusi, pieni e cavi a elevato assorbimento acustico	LMD/LRD								
	Pannelli di particelle antistatici	–	Nessuna norma DIN							
	Pannelli di particelle di cellulosa	–								
	Pannelli di particelle legate con cemento	–	Nessuna norma DIN. Ammissione secondo le norme di costruzione				Cemento			
	Pann. di particelle legate con magnesite	–					Magnesite			
	Pannelli di particelle legate con gesso	–					Gesso			
Pannelli di fibre	Pannelli di fibre di legno per l'edilizia	HFH 20 HFM	68.754 T. 1, 2/76	20	2-8	12	KUF, KPF oppure senza leganti			
	Pannelli di fibre di tipo duro	HFH	68.753, 1/76				KUF, KPF oppure senza leganti	1,2–6	fino a 2100	fino a 5500
	Pannelli di fibre di tipo semiduro	HFM	68.750, 4/58							
	Pannelli di fibre di tipo molto duro	HFE	valide solo per							
	Pannelli di fibre, porosi	HFD	HFH, HFD				Colla di resina naturale oppure senza leganti	5–30	fino a 3000	fino a 6000
	Pannelli di fibre con bitume (normale ed extra)	BPH 1, BPH 2	68.752, 12/74 68.753, 1/76							
	Pannelli composti	MHF	68.753, 1/76							
Pannelli da costruzione leggeri	Pannelli da costruzione leggeri in lana di legno	L	1101, 3/80				Cemento, magnesite caustica	15, 25, 35, 50, 75, 100	500	2000
	Pannelli da costruzione leggeri multistrato	M	1104 T. 1, 3/80					15, 25, 35, 50, 75	500	2000

1) Settori di impiego secondo la norma DIN 68.800 parte 2, gennaio 1984
- 20: ad esempio rivestimento interno di pareti, soffitti e tetti in ambienti con umidità generalmente bassa.
- 100: ad esempio rivestimento di pareti esterne con protezione contro le intemperie con cavità fra rivestimento e protezione sufficientemente aerata, secondo ia norma: aperture per aerazione e scarico d'aria, la cui misura corrisponde almeno al 2% della superficie da aerare.
- 100 G: ad esempio rivestimento interno di ambienti con necessità di assorbimento di umidità della superficie elevato e diretto (ad es. docce), costruzioni recenti con umidità molto elevata, rivestimenti esterni di pareti esterne con protezione contro le intemperie e cavità aerata fra rivestimento esterno e protezione, senza aerazione sufficiente o del tutto senza aerazione, rivestimento superiore nella costruzione di tetti, intavolati del tetto portanti e rinforzati.

2) Grado di umidità u in % min/max ammesso franco fabbrica, riferito al peso allo stato fresco.
3) Massimo grado di umidità ammesso u_{gl} in % in condizione di impiego, riferito al peso allo stato fresco.
4) KUF = resina di formaldeide ureica, KPF = resina di formaldeide fenolica, KRF = resina di formaldeide resorcina, PRF = resina di formaldeide resorcina e fenolica, KMF = resina di formaldeide melammìnica.
5) Classi di incollaggio secondo la norma DIN 68.705 parte 2, luglio 1981 ;
- ÌF: Incollaggio durevole solo in ambienti generalmente con bassa umidità dell'aria
- AW: Incollaggio durevole anche in caso di necessità di maggiore assorbimento di umidità.
6) In base alla norma DIN 68.800 parte 2, gennaio 1984

Settori di impiego comuni	Ulteriori caratteristiche
• Elementi portanti e di rinforzo per tutte le applicazioni per le quali è consentito l'impiego di legno lamellare secondo la norma DIN 1052 parte 1	
• Elementi portanti o di rinforzo nella costruzione di interni ed esterni, anime di travi flessibili composte, rafforzamento della spinta nel settore di appoggio per tralicci e reticoli, pannelli di giunzione, rafforzamento degli angoli dei telai, rivestimenti co-portanti e di rinforzo, nervature, elementi portanti e di rinforzo nella costruzione a pannelli di legno	• Utilizzazione di tipi di legno con maggiore resistenza oppure trattamento con sostanze preservanti del legno
• Come sopra con requisiti di maggiore resistenza	• Eventualmente trattamento con sostanze preservanti del legno
• Settore prevalente di impiego nella costruzione di mobili, laboratori e scale, tavole da fasciame di legno, poco usato nell'ingegneria civile	
• Casseforme in cemento	• Installate simmetricamente, trattate sotto vuoto, utilizzabili su due lati allo stesso modo • SST/SSTAE: ampiezza solitamente da 7 a 10 m², spessore 19-30 mm • SFU: ampiezza almeno 3 m², spessore almeno 4 mm
• Costruzione di interni, rivestimenti di pareti e soffitti, porte, costruzione di contenitori, costruzione di mobili, costruzione di cassette e di mobili, costruzione di macchine e impianti, allestimenti di officine e magazzini	• Almeno 5 sfogliati interni persi (angoli di ± 45°), proprietà relativamente simili in tutte le direzioni dei piani del pannello
	• Stabilità particolarmente buona (nessuna ondulazione della superficie dei pannelli a causa di variazioni di umidità)
	• Indicazione precedente per pannello di compensato a listelli, in cui i listelli dell'anima non erano stati incollati fra loro
• Elementi portanti o di rinforzo nella costruzione di interni ed esterni	
• Elementi portanti o di rinforzo nella costruzione di interni ed esterni	
• Elementi portanti o di rinforzo nella costruzione di interni ed esterni, edilizia agraria	• Il materiale di particelle è composto soltanto da trucioli, trattamento con sostanze preservanti del legno contro i funghi
• Costruzione di mobili, interni, rivestimento, mezzi di trasporto, contenitori	
• Id., in part. per verniciatura diretta, accoppiatura di fogli sottili, rivestimento pressato e simili	• Requisiti precisi per le superfici truciolari sottili
• Costruzione di mobili e interni	
• Anima dei pannelli accoppiati, rivestimenti di pareti e soffitti, pannellatura di tavole di legno • Costruzioni mediante tavole	
• Pannelli acustici con elevato assorbimento sonoro, rivestimenti acustici di pareti e soffitti	• Con o senza rivestimento o pannellatura • Rivestito o pannellato sui due lati con superficie chiusa • Rivestito o pannellato sui due lati, con superficie divisa
• Pannelli per la pavimentazione di locali per computer e laboratori	• Conduttivo con l'ausilio di aggregati
	• Proprietà corrispondenti ai requisiti della norma DIN 68.761 (pannelli pressati piani per scopi generali)
• Rinforzo e rivestimento nell'edilizia residenziale, di corridoi, prefabbricati e uscite di sicurezza, pareti divisorie leggere, elevata protezione antincendio, isolamento acustico, edilizia agraria	• Scarsa capacità di assorbimento di acqua, proprietà simili a quelle dei pannelli V 100, la percentuale di cemento corrisponde al 50-85% della massa
• Interni di case in legno, costruzione di navi	• Più sensibili all'umidità dei pannelli di particelle legati con cemento, buone proprietà ignifughe
• Impiego di pannelli in cartongesso, rivestimenti di pareti e soffitti, elevata protezione antincendio nella costruzione di interni	• Sensibili all'umidità, adatti solo all'impiego per interni, buone proprietà acustiche, con circa lo stesso spessore, più facili da lavorare rispetto a pannelli di particelle legati con cemento, la percentuale di gesso corrisponde al 70% circa della massa
• Elementi di rinforzo, elementi flessibili (solo pannelli in fibra di legno di tipo duro), costruzione di contenitori, costruzione di mezzi di trasporto, rivestimento in cemento, prefabbricati, pannellatura di tavole di legno	• Secondo la norma DIN 1052 parte 3, 4/88, requisiti minimi di massa volumica e spessore minimo per le tavole da fasciame, norma DIN per pannelli in fibra di legno di tipo duro 100 e per pannelli in fibra di legno di tipo semiduro 100 in preparazione
• Costruzione di interni, costruzione di mobili, costruzioni per esposizioni e fiere, porte	
• Pareti divisorie, costruzione di coperture, armadi a muro, mobili da appartamento e in stile	
• Casseforme per cemento, imballaggi speciali	• Pannelli in fibra di legno di tipo duro ritemprati, capacità di rigonfiamento notevolmente ridotta
• Isolamento termico e acustico	• Scarsa solidità, alta capacità di assorbimento di acqua
• Pareti esterne, coperture	• BPH1: pannelli in fibra di legno porosi impregnati di bitume pari al 10-15% del peso • BPH2: pannelli in fibra di legno porosi impregnati di bitume pari a più del 15% del peso, maggiore resistenza all'umidità
• Porte interne	• Anima di pannelli in fibra di legno, le proprietà dei materiali contribuiscono all'efficacia della costruzione d'insieme
• Isolamento termico e acustico, pareti divisorie, casseforme a perdere, travi intonacate, miglioramento della resistenza al fuoco, pannelli acustici (non intonacati)	• Alta capacità di assorbimento di acqua, impiego per esterni solo con misure di preservazione supplementari
• Isolamento termico e acustico, casseforme a perdere, travi intonacate	

Proprietà di resistenza e di elasticità dei materiali derivati dal legno

		Resistenza alla rottura in N/mm^2															Proprietà di elasticità in N/mm^2							
		Sollecitazione sul piano del pannello								Sollecitazioni perpendicolari al piano del pannello					Resistenza dell'intradosso dei fori		Modulo di elasticità E				Modulo di spinta G			
		Flessione		Trazione		Compressione		Taglio		Flessione		Taglio		Trazione trasversale	Diametro in mm		Flessione sul piano del pannello		Flessione perpendicolare al piano del pannello		Flessione sul piano del pannello		Flessione perpendicolare al piano del pannello	
		β_{Bxz}		β_{Zx}		β_{Dx}		τ_{zx}		β_{Bxy}		τ_{yz}		$\sigma_{Z}\perp$	6	8	E_{Bxz}		E_{Bxy}		G_{yx}		G_{zx}	
		Direzione della fibratura dello sfogliato di copertura																						
		∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥				∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥
BFU[1,5]	Numero dei fogli / spessore del pannello in mm: 3/≤ 8			45-80	20-45	25-50	10-25			65-130	7,5-19						5000-10000	2500-5000	7000-14000	300-1500				
	5/> 8-15	≥ 27	≥ 18	40-75	25-53	22-45	14-30	3-5		58-110	25-70	10-18					4500-8500	3000-5500	6000-12000	2000-5000	500-1000		≥ 600	
	≥ 7/> 15-29			35-70	30-60	20-40	17-35			50-75	30-60						4000-7000	3500-6000	5000-10000	2500-7000				
Pannelli pressati piani[2] V20, V100, V100 G	Spessore del pannello in mm: 6-13	13-18		10-14		12-16		1,5-2,0		**18**-25		7,5-11		0,5-1,0[4]	35-40	30-35	2200-3200		**3200**-4500		1100-1200			
	> 13-20	12-15		9-12,5		11-15		1,5-2,0		**16**-22		7,5-11		0,4-0,8[4]	35-40	30-35	1900-2800		**2800**-4000		1000-1200		150-250	
	> 20-25	11-13		8-10		10-14		1,5-2,0		**14**-20		7,5-11		0,35-0,7[4]	35-40	30-35	1600-2400		**2400**-3500		850-1200			
	> 25-32	9-12		7-10		9-13		1,0-2,0		**12**-18		5,0-8,5		0,3-0,6[4]	40-45	35-40	1300-2000		**2000**-3000		700-1000			
	> 32-40	8-11		6-9		8-12		1,0-2,0		**10**-16		5,0-8,5		0,25-0,5[4]	40-45	35-40	1000-1600		**1600**-2500		550-1000		100-200	
	> 40-50	5-7		5-8		7-11		1,0-2,0		**8**-13		5,0-8,5		**0,2**-0,3			**800**-1200		**1200**-2000		450-1000			
Pannelli in fibra di legno[3] HFH	Spessore del pannello in mm: ≤ 4	≥ 28		25-50		20-40		3-6		**40**-60		≥ 20		**0,7**			2500-6500		4000-7000		≥ 1250		≥ 200	
	> 4	≥ 20		20-40		18-35				**35**-50				**0,6**			2000-5000		3500-6000		≥ 1000			
HFM	5-16	≥ 10		10-15		~ 10		1,5-2,0		**12**-22		≥ 4		**0,1**			1000-2500		1500-4500		≥ 500		≥ 100	

1) *Holzwerkstoffe im Bauwesen,* 1981.
2) DIN 68.763, 7/80 (Valori minimi riportati in grassetto); *Holzbauatlas,* Monaco, 1980; Studie Impulsprogramm Holz, CH, 1988 (non pubblicato); *Holzwerkstoffe im Bauwesen,* 1981
3) DIN 68.754 parte 1, febbraio 1976 (valori minimi riportati in grassetto), *Holzbauatlas,* Monaco, 1980.
4) I valori sono validi per V20 e V100.
5) Legno compensato per sfogliati da costruzione in faggio (BFU-BU): valori nel settore superiore e oltre.

Tensioni ammesse e coefficienti secondo la norma DIN 1052 parte 1 e 3, aprile 1988

			Tensioni ammesse per materiali derivati dal legno in N/mm^2 in condizione di carico H																Coefficienti per modulo di elasticità e di spinta in N/mm^2									
			Sollecitazione sul piano del pannello								Sollecitazione perpendicolare al piano del pannello								Modulo di elasticità E [5)6)]						Modulo di spinta G [5)6)7)]			
			Flessione		Trazione		Pressione		Taglio		Flessione		Pressione		Taglio		Pressione all'intradosso dei fori [3)4)]		Sollecitazione sul piano del pannello: Flessione		Sollecitazione sul piano del pannello: Trazione + pressione		Flessione perpendicolare al piano del pannello		Flessione sul piano del pannello		Flessione perpendicolare al piano del pannello	
			amm. σ_{Bxz}		amm. σ_l		amm. σ_{Dx}		amm. τ_{zx} [1)2)]		amm. σ_{Bxy}		amm. σ_{Dz}		amm. τ_{yz} [1)]		amm. σ_l		E_{Bxz}		E_{Zx}	E_{Dx}	E_{Bxy}		G_{yx}		G_{Zx}	
			Direzione della fibratura dello sfogliato di copertura																Direzione della fibratura dello sfogliato di copertura									
			∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥
BFU conforme a DIN 68.705 parte 3, dicembre 1981	Numero di fogli	3	9	6	8	4	8	4	0,9		13	5	3		1,8	1,8	8	4	4500	1000	4500	1000	8000	400	500		250	
		≥5													3	3				2500		2500	5500	1500				
BFU-BU [8)] conforme a DIN 68.705 parte 5, ottobre 1981 e allegato alla parte 5	Classe	1	13	14	13	14	7	7			18	17					14	14	4400	4700	4400	4700	5900	4000				
		2	16,5	13	16,5	13	8,5	7			20	14,5					17	14	5500	4400	5500	4400	6600	3500				
		3	16,5	11	16,5	11	8,5	5,5	1,2		22,5	12	4,5		4		17	11	5500	3650	5500	3650	7400	2850	700		400	
		4	20	9	20	9	10	4,5			26	8					20	9	6600	3000	6600	3000	8700	1500				
		5	16,5	11	16,5	11	8,5	5,5			29	5					17	11	5500	3700	5500	3700	9600	650				
Pannelli di particelle piani conformi a DIN 68.763, luglio 1980	Spessore nominale pannelli in mm	fino a 13	3,4		2,5		3,0				4,5								2200		2200		3200		1100			
		oltre 13 fino a 20	3,0		2,25		2,75		0,4		4,0		2,5		1,8				1900		2000		2800		1000		200	
		oltre 20 fino a 25	2,5		2,0		2,5				3,5								1600		1700		2400		850			
		oltre 25 fino a 32	2,0		1,75		2,25				3,0		2,0				6,0		1300		1400		2000		700			
		oltre 32 fino a 40	1,6		1,5		2,0		0,3		2,5				1,2				1000		1100		1600		550		100	
		oltre 40 fino a 50	1,4		1,25		1,75				2,0		1,5						800		900		1200		450			
		oltre 50 fino a 80	1,2 [9)]		1,0 [9)]		1,5 [9)]		0,2 [9)]		1,5 [9)]				1,0 [9)]				600 [9)]		700 [9)]		1000 [9)]		350 [9)]		80 [9)]	
Pannelli di particelle estrusi rivestiti conformi a DIN 68.764 parte 2	Spessore nominale pannelli grezzi	12	–		2,0		2,0		0,5 [10)]		5,0		2,5		1,2		3,0		–		1600		3500		800		100	
		16	–		1,5		1,5				3,5								–		1400		2800		700			
Pannelli di fibre di legno conformi a DIN 68.754 parte 1 – HFH	Spessore nominale pannelli in mm	fino a 4	5,5		4,0		4,0		0,4		8,0		3,0		1,5		6,0		2500		2500		4000		1250		200	
		oltre 4	4,0								6,0								2000		2000		3500		1000			
HFM		da 6 a 16	2,0		2,0		2,0		0,3		2,5		2,0		0,8		3,0		1000		1000		1500		500		100	

1) Valori validi anche per spinta trasversale.
2) Valori validi anche per taglio nei giunti incollati.
3) Per legno compensato impiallacciato da costruzione composto da almeno cinque strati è amm. σ_l = 2 • amm. σ_{Dx}
4) Per viti e spinotti.
5) Possono venire impiegati valori superiori se questo è certificato, nell'ambito della sorveglianza della fabbricazione dei materiali derivati dal legno, mediante apposito attestato di prova emesse da un ente esterno indipendente.
6) Per legno compensato impiallacciato da costruzione di okoumé e pioppo i coefficienti per il modulo di elasticità e il modulo di spinta devono essere ridotti di 1/5.
7) Valori validi per numero di strati > 3.
8) Valori minimi per moduli di elasticità; i valori per le tensioni ammissibili sono stati calcolati partendo dai valori di stabilità della norma DIN 68.705 parte 5 con il valore di sicurezza 3. (Informationsdienst Holz, Baufurniersperrholz aus Buche, 1988)
9) 1988, Studie Impulsprogramm Holz, Svìzzera, 1988 (non pubblicato).
10) Valori validi anche per taglio in unioni incollate tra nervature e pannellatura.

Elementi

Legno multistrato
• Fogli per impiallacciatura in pino europeo e abete rosso.
• Leganti: resine sintetiche.
• Eventualmente (di rado) sostanze protettive contro parassiti e incendi.

Legno compensato
• Piallacci, aste o bastoncini:
- interno: abete rosso, abete;
- esterno: faggio, betulla, limba, okoume, douglas, makorè, mogano, meranti, abachi.
• Leganti (resine sintetiche).
• Eventualmente (di rado) sostanze protettive contro i parassiti del legno e sostanze ignifughe.

Pannelli di particelle
• Trucioli di legno, in prevalenza: pino, abete rosso, faggio, betulla, ontano, frassino, quercia, pioppo, castagno.
• Fibre legnose di piante annuali, cascami legnosi di lino e canapa.
• Leganti: resine sintetiche, cemento, magnesite, gesso.
• Indurente nel caso di uso dì resina ureica e di resina ureico-melamminica: cloruro di ammonio, solfato di ammonio, persolfato di ammonio (da 0,5 a 4% della percentuale di resina).
• Sostanze idrofobe: paraffina (da 0,3% a 2%, a seconda del peso a secco dei pannelli).
• Eventualmente (di rado) sostanze protettive contro i parassiti del legno e ignifughe.
• Coloranti (colorazione occasionale dei diversi tipi normalizzati, per impedire che vengano scambiati).

Pannelli di fibre
• Fibre del legno, in prevalenza: abete rosso, abete, pino, faggio, betulla, pioppo, eucalipto.
• Fibre legnose di piante annuali.
• Con o senza aggiunta di leganti: resine sintetiche, resine naturali.
• Indurenti: per processi a umido acido solforico, solfato di ferro e di alluminio (alaun), per resina ureica con processo a secco cloruro di ammonio, aggiunta di sostanze tampone.
• Eventualmente sostanze idrofobe: cera (paraffina).
• Eventualmente sostanze protettive contro i parassiti del legno e ignifughe.

Pannelli da costruzione leggeri di lana di legno
• Trucioli dì legno a fibra lunga, in prevalenza abete rosso, pino, abete.
• Leganti minerali

Pannelli da costruzione leggeri in multistrato
• Pannelli da costruzione leggeri in lana di legno (si veda sopra).
• Spugna sintetica conforme alla norma DIN 18.164 partel.

Caratteristiche meccaniche

Legno multistrato
• Elevata resistenza e comportamento favorevole in presenza di deformazioni nella direzione della fibratura.

Legno compensato
• Elevata resistenza e stabilità dimensionale grazie a una struttura a più strati, incollati a fibre incrociate (effetto isolante).
• Numerose possibilità di variare la struttura del pannelli e quindi le caratteristiche elastomeccaniche modificando il numero, lo spessore, il tipo di legno e la disposizione dei singoli piallacci; il tipo di piallaccio è di importanza fondamentale per determinare le caratteristiche dei pannelli in legno compensato.
• Rispetto ai pannelli di compensato da costruzione in altri tipi di legno, quelli di compensato da costruzione in faggio presentano un'elevata resistenza.
• Rivestendo o fasciando il materiale portante con metalli o sostanze sintetiche rinforzate con fibre di vetro è possibile aumentare ulteriormente la rigidità del pannello.

Pannelli pressati piani legati con resine sintetiche
• In entrambe le direzioni del piano del pannello resistenze a trazione, pressione e flessione quasi costanti; scarsa resistenza alla trazione in caso di sollecitazione perpendicolare al piano del pannello dovuta alla struttura relativamente lassa dello strato intermedio.
• I valori delle varie resistenze possono essere migliorati utilizzando diverse strutture trasversali (posizione e caratteristiche dei trucioli, tipo di incollaggio, grado di compressione).
• Generalmente, a causa della percentuale di legante più elevata degli strati di copertura, le resistenze alla flessione dei pannelli pressati piani in multistrato sono più elevate di quelle dei pannelli monostrato.

Pannelli pressati estrusi legati con resine sintetiche
• Pannelli pressati estrusi non fasciati (pannelli grezzi): scarsa resistenza alla trazione, alla compressione e alla flessione nel piano del pannello, resistenza alla trazione relativamente alta trasversalmente al plano del pannello.
• Se sono sottoposti a sollecitazioni alla trazione, alla compressione o alla flessione, essi devono essere fasciati sui due lati come semplici pannelli intermedi.

Pannelli di fibre
• Comportamento quasi Isotropo in entrambe le direzioni del piano del pannello.
• È possibile modificare le caratteristiche con trattamenti a pressioni e temperature diverse e impiegando vari leganti.

Superficie

Legno multistrato
Realizzazione di pannelli grezzi con piallacci di copertura non trattati.

Legno compensato
Realizzazione di pannelli grezzi con piallacci dì copertura non trattati e con pannelli lavorati in superficie.
• Lavorazione mediante lisciatura (carteggiatrice o raschiatrice), strutturazione (sabbiatura, bruciatura, vernice ecc.) per ottenere superfici a rilievo e mediante incisione di scanalature per l'alleggerimento ottico dei rivestimenti di ampie superfici.
• Trattamento mediante impregnazione dei piallacci di copertura con resina sintetica, coloritura, vernice trasparente o altro per la colorazione o la protezione della superfìcie, mediante oliatura come trattamento preliminare dei pannelli delle casseforme e mediante mano di fondo per ulteriori verniciature della superficie.
• Rivestimento con piallacci decorativi incollati sul pannello portante (i piallacci di copertura vengono suddivisi nelle categorie di qualità 1, 2 e 3, a seconda delle diverse caratteristiche), con resine liquide o vernici applicate per colata, laminazione o spruzzatura e successivo invecchiamento, con carta impregnata di resina (spesso la carta viene usata per la colorazione, la resina conferisce una buona protezione alla superficie dopo l'Invecchiamento nella pressa a caldo), con pellicole, ad esempio su basefenolico-formaldeidica per ampi pannelli di casseforme dì alta qualità, nonché con laminati plastici incollati sul legno compensato.
• Fasciatura con resine sintetiche rinforzate con fibra di vetro o con lamiere metalliche (soprattutto per aumentare la rigidità dei pannelli).

Pannelli di particelle legati con resine sintetiche
Realizzazione di pannelli grezzi carteggiati e non, come pure
• rivestimento con fogli per impiallacciatura (in genere spessore da 0,5 mm a 2 mm, tra i principali materiali di superficie usati per i pannelli di particelle), con materiale sintetico (pressatura dei pannelli piatti con fogli dì carta impregnati di resina melamminica), con fogli flessibili in PVC o incollando fogli di carta impregnati di resina sintetica, con vernici liquide applicate per colata, laminazione, a spatola e a spruzzo in strutture diverse, un velo di vetro con verniciatura speciale oppure una tela di juta grossa sulle superfici traforate (pannelli acustici, pannelli grezzi, pannelli tubolari pressati estrusi a fessure, pannelli di particelle leggeri).

Pannelli di particelle legati con cemento
Realizzazione di pannelli grezzi non trattati e di pannelli rivestiti (con fogli di materiale sintetico, vernici disperdenti o intonaci di malta).

Pannelli di fibre
Realizzazione di pannelli grezzi non lavorati
• Cartone duro di fibra di legno: in genere liscio soltanto da un lato, sul lato posteriore vi è la cosiddetta struttura a retino, realizzazione possibile anche su entrambi i lati di pannelli lisci. Cartone di fibra di legno di durezza media: generalmente liscio su entrambi i lati, piuttosto poroso a causa della scarsa densità. Cartone di fibra di legno poroso: pannelli isolanti leggeri, scarsa resistenza alla compressione.

Realizzazione di pannelli lavorati in superficie mediante
• rivestimento con vernici liquide, fogli preparati di carta, tela o altro, rivestimento pressato con carta impregnata di resina melamminica (stampato a un colore) o con imitazioni quali macchiatura a finto legno o simili (stampa calcografica indiretta);
• rivestimento con fogli di carta resistenti alle fessurazioni e coperte con vernice protettiva (carta sottile), con fogli termoplastici con pressione strutturata (rivestimento a caldo con rulli) o con tessuti a trama larga (juta o simili):
• strutturazione mediante rivestimento di corrispondenti lamiere per stampi durante la compressione a caldo (cartone di fibra duro) mediante carteggiatura o fresatura;
• perforazione mediante punzonatura, trapanatura o fresatura di fori e fessure.

Pannelli da costruzione leggeri
in lana di legno
Realizzazione di pannelli grezzi non lavorati a pori grossi e di pannelli rivestiti (con fogli, vernici disperdenti resistenti agli alcali o intonaci di malta).

Lavorazione

Legno multistrato/legno compensato
Con gli utensili per lavorare il legno normalmente usati, a seconda di:
• peso specifico apparente: un aumento del peso specifico apparente causa un incremento delle durezze e del fabbisogno di energia durante la lavorazione; è possibile ottenere una migliore lisciatura della superficie;
• materiali contenuti nel legno: i materiali interni minerali necessitano di utensili con applicazione della placchetta (di carburi);
• andamento delle fibre: per i tipi di legno con andamento irregolare delle fibre è più difficile ottenere superfici lisce perché le fibre si strappano o si rizzano;
• colla: durante la lavorazione, la colla indurita consuma gli utensili ancor più del legno; pertanto è necessario procedere al cambio degli utensili con frequenza maggiore rispetto alla lavorazione del legno massello.

Pannelli di particene legati
con resine sintetiche
• Fresatura, segatura, trapanatura, esecuzione di scanalature, pieghe e fessure, carteggiatura.
• Uso di utensili in acciaio super-rapido e di utensili con applicazione della placchetta (dì carburi).

Pannelli di fibre
• Fresatura, segatura, piallatura, trapanatura con le stesse macchine e gli utensili usati per il legno massello dello stesso peso specifico apparente.
• Carteggiatura con i normali nastri ovvero corpi carteggiarti.
• Deformazione solo in caso di HFH (pannello di fibre di legno duro), fino a un raggio di circa 25 cm.

Pannelli da costruzione leggeri
• Segatura, chiodatura, successiva pulizia, lavorabili con facilità.

Rivestimento

Legno compensato
A seconda di:
• conformazione della superficie (struttura, porosità, levigatezza), in caso dì qualità inferiore della superficie e/o di maggiori esigenze saranno necessarie più fasi di lavorazione;
• comportamento chimico dei materiali interni di legno: materiali interni avversi alle vernici ricavati da alcune essenze tropicali molto decorative compaiono di rado nei legni solitamente usati per la produzione del legno compensato; un fondo isolante è necessario soltanto in casi particolari.

Pannelli di particene legati
con resine sintetiche
• Buon accoppiamento con tutti i tipi di vernici per i! legno.
• In seguito a difetti di colorazione causati da particene di corteccia più grandi presenti nella superficie dei pannelli e/o a colorazioni marroni dovute al "sanguinamento" di resine fenoliche, nello strato verniciato, indipendentemente dall'accoppiamento, è possibile che insorgano difetti di superficie (cambiamenti di colore), soprattutto nel caso di vernici pigmentate dì bianco. Tali difetti possono essere evitati con un trattamento preliminare, soprattutto nel caso di pannelli di particelle incollati con resine fenoliche, a base di fondi bloccanti consigliati dal produttore della vernice.

Pannelli di particene legati con cemento
• Verniciabilità limitata, rivestibili con tutte le vernici disperdenti resistenti agli alcali o con vernici minerali al silicato.

Pannelli di fibre
• HFH (pannello di fibre di legno duro): spesso la verniciatura è possibile soltanto dando preventivamente una mano di fondo, la cui quantità varia a seconda della porosità della superficie.
• HFM (pannello di fibre di legno di media durezza): soltanto dopo il trattamento preliminare è paragonabile ai pannelli di particene leggeri, ed è quindi necessario un rivestimento di fondo con pellicola, con stucco o simili.
• HFD (pannello di fibre porose), BPH (pannello di fibre bitumose): è consentito soltanto il rivestimento con vernici leganti acquose ad alta viscosità (disperdenti) e con sostanze schiumogene ignifughe.

Incollaggio

Legno compensato
• Buona incollabilità con tutte le colle normalmente utilizzate nell'industria del legno e nell'artigianato.
• Prima di procedere all'incollaggio del legno compensato contenente una sostanza protettiva contro l'infestazione dei parassiti o il fuoco, è necessario chiedere al produttore se la sostanza protettiva usata tollera il collante.

Pannelli di particene legati
con resine sintetiche
• Incollabilità illimitata con tutte le colle e i collanti normalmente utilizzati per i pannelli di particene incollati con amminoplasto e isocianato (i pannelli FPO, FPY, V20 e V100 necessitano di autorizzazione specifica).
• Incollabilità limitata di pannelli di particelle incollati con resine fenoliche, se si usano collanti a base di resina ureica, a causa del contenuto di alcali delle resine fenoliche; generalmente sono necessari maggiori dosaggi di indurenti e tempi di compressione più lunghi; nel caso vengano utilizzati gli altri collanti per il legno, le limitazioni saranno suggerite dalla loro sensibilità agli alcali; i migliori incollaggi si ottengono con collanti a base di resorcina 0 resorcina fenolica.
• Incollabilità limitata nel caso dei pannelli di particene B1 difficilmente infiammabili con alcuni tipi di collante PVAc nonché con collanti di resina fenolica o ureica.

Pannelli di particene legati con cemento
• Limitata incollabilità con resina ureica a causa dell'elevata alcalinità del cemento; risultati migliori si ottengono con collanti PVAc o a base di resorcina fenolica.

Pannelli di fibre
• Incollabilità dì tutti i tipi di pannelli con 1 normali collanti.
• In caso di pannelli con reazione acida (pH < 7), se si usano collanti duroplastici (tra cui colla a base di urea e formaldeide) bisognerà adeguare di conseguenza la quantità di collante da aggiungere.
• HFH (pannello di fibre di legno duro): è necessario irruvidire la superficie liscia mediante precedente levigatura.

Comportamento al fuoco

Classi dei materiali da costruzione
• Classificare il comportamento al fuoco dei materiali da costruzione per valutare il rischio del singolo materiale.
• La norma DIN 4102 distingue fra materiali da costruzione non combustibili (classe A) e materiali da costruzione combustibili (classe B).

Legno multistrato
• Vale quanto stabilito per il legno compensato (legno compensato per impiallacciati in base alla norma DIN 68.705 parte 3) nella norma DIN 4102.

Legno compensato
• Classe B2 in base alla norma DIN 4102 parte 4, normalmente infiammabile: legno compensato con un peso specifico apparente ≥ 400 kg/m^3 e uno spessore > 2 mm, nonché legno compensato con un peso specifico apparente ≥ 230 kg/m^3 e uno spessore > 5 mm senza prove particolari (DIN 4102 parte 4).
• Classe B1, difficilmente infiammabile, soggetto a punzonatura: legno compensato con aggiunta di sali ignifughi durante la produzione (un prodotto corrispondente presente sul mercato è il legno compensato di faggio protetto e difficilmente infiammabile) nonché pannelli di legno compensato normalmente infiammabili trattati successivamente con sostanze ignifughe che costituiscono uno strato di spugna.

Pannelli di particene
• Classe B2 conformemente alla norma DIN 4102 parte 4, normalmente infiammabili: pannelli di particene con un peso specifico apparente ≥ 400 kg/m^3 e uno spessore > 2 mm oppure con un peso specifico apparente ≥ 230 kg/m^3 e uno spessore > 5 mm senza prove particolari.
• Classe B1, difficilmente infiammabili, soggetti a punzonatura: pannelli di particelle con aggiunta di sostanze antincendio durante la produzione, oppure pannelli di particene normalmente infiammabili trattati successivamente con vernici protettive o sostanze che formano uno strato di spugna, nonché i normali pannelli di particene legati con cemento e non ancora normalizzati.
• Classe A2, non infiammabili, soggetti a punzonatura: pannelli di particene con strati di copertura in vermiculite; tipi speciali di pannelli dì particene legati con cemento o cemento-magnesite nonché aumento del peso specifico apparente a oltre 850 kg/m^3 mediante alti dosaggi di sostanze antincendio.

Pannelli di fibre

• Classe B2 conformemente alla norma DIN 4102 parte 4, normalmente infiammabili, soggetti a punzonatura: pannelli di fibre con un peso specifico apparente ≥ 400 kg/m^3 e uno spessore > 2 mm oppure con un peso specifico apparente ≥ 230 kg/m^3 e uno spessore > 5 mm senza prove particolari.

• Classe B1, difficilmente infiammabili: pannelli di fibre con aggiunta di sostanze ignifughe durante la produzione, oppure pannelli di fibre normalmente infiammabili trattati successivamente con vernici protettive o sostanze che formano uno strato di spugna.

Pannelli da costruzioni leggeri in lana di legno

• Classe B1, difficilmente infiammabili, conformemente alla norma DIN 4102 parte 4.

Pannelli da costruzione leggeri multistrato

• Classe B2, conformemente alla norma DIN 4102 parte 4, normalmente infiammabili.

• Classe B1, difficilmente infiammabili, soggetti a punzonatura.

Resistenza ai prodotti chimici

Legno compensato

• Elevata resistenza del legno nei confronti di acidi diluiti, resistenza ridotta in caso di reazione di soluzioni alcaline.

• I legnami di conifere grazie al loro elevato contenuto di lignina sono più resistenti ai prodotti chimici rispetto ai legnami di latifoglie.

• A seconda del tipo di collante utilizzato, nel caso sia necessario un incollaggio più tenace, i migliori incollaggi si ottengono con collanti a base dì resorcina o resorcina fenolica.

• In caso di azione di oli, solventi e acqua si deve tenere conto del comportamento dei pannelli rispetto al rigonfiamento.

Pannelli di particelle legati con resine sintetiche

• Notevoli formazioni di rigonfiamenti in tutti i casi in cui entrano in azione I fluidi acquosi o alcolici. Spessore del rigonfiamento in caso di azione prolungata per diversi giorni: 15-20%.

• I pannelli di particelle legati con amminoplasto dei tipi standardizzati V 20, FPY, FPO e i pannelli incollati con amminoplasti V100 con autorizzazione speciale non sono resistenti agli acidi diluiti e concentrati e alle soluzioni alcaline; sono invece molto resistenti alle ridotte azioni di solventi organici.

• I pannelli di particelle incollati con resine fenoliche e legati con isocianato del tipo standardizzato V100 sono resistenti alle azioni non eccessivamente aggressive di vapori di acidi e di soluzioni alcaline.

• I pannelli di particelle incollati con amminoplasto in caso di azione perdurante dell'acqua subiscono una progressiva perdita di solidità fino alla decomposizione.

• I pannelli truciolari legati con resine fenoliche e isocianato in caso di azione dell'acqua mostrano anch'essi considerevoli rigonfiamenti, senza distruzione dell'incollaggio.

Pannelli di fibre

• Formazione dì rigonfiamenti in tutti i casi nei quali mezzi acquosi o alcolici agiscono sui pannelli di fibre.

• ì pannelli di fibre incollati con resine a base di urea e formaldeide non sono resistenti ad acidi diluiti e concentrati e a soluzioni alcaline, mentre sono più resistenti nei confronti della ridotta azione di solventi organici.

• I pannelli di fibre incollati con resina fenolica sono resistenti all'azione non eccessivamente aggressiva dei vapori acidi e di soluzioni alcaline.

Inquinamento ambientale

Classi di emissioni

• Caratterizzano l'emissione dì formaldeide nei materiali derivati dal legno.

• Secondo il GefStoffV (Decreto sulle sostanze pericolose) a partire dal 1,10.1988 in Germania possono venire messi in commercio soltanto materiali derivati dal legno della classe di emissione 1 (E1), i quali possono venire lavorati senza restrizioni.

• Non essendo ancora entrati in vigore i relativi procedimenti di collaudo, per il momento dovrebbero venire applicate le direttive ETB per i pannelli di particelle.

• I pannelli di materiali derivati dal legno che non rientrano nella classe E1 possono venire migliorati mediante rivestimento o copertura in modo tale da poter essere utilizzati come pannelli E1 (in questo modo l'emissione di formaldeide non viene impedita, ma viene comunque distribuita su un periodo più lungo).

Legno multistrato

• Incollaggio dei singoli strati di piallaccio con colla contenente formaldeide (resina fenolo-formaldeide).

Legno compensato

• Incollaggio dei singoli strati di compensato in parte con colla contenente formaldeide.

Pannelli di particelle legati con resina sintetica

• L'isocianato è praticamente privo di formaldeide.

• I pannelli di particelle grezzi della classe di emissione E2 per ridurre il rilascio di formaldeide devono essere forniti su entrambi i lati di rivestimento o copertura di spessore sufficiente a impedire l'emissione di formaldeide.

Pannelli di particelle legati con minerali

• Non emettono nessuna sostanza dannosa per la salute, non sono nocivi per la salute.

• Durante la lavorazione sono da evitare danni ulteriori causati dai materiali di lavorazione.

Pannelli di fibre

• I pannelli di fibre di legno di spessore e durezza media, fabbricati con procedimento a secco, possono emettere formaldeide a seguito dei collanti di resina ureica e formaldeide solitamente impiegati.

Pannelli da costruzione leggeri

• Conformemente alle norme DIN 1101 e DIN 1104 essi non contengono nessun elemento dannoso, in particolare quelli che agiscono in modo nocivo su altri elementi costruttivi, mezzi di fissaggio, vernici e intonaci.

• La percentuale di cloruro idrosolubile non può superare la massa dello 0,35% Cl.

Resistenza

Legno compensato

• Pericoli causati da influssi climatici, eccessive sollecitazioni meccaniche e parassiti vegetali o animali.

• Non adatto per l'esposizione diretta agli agenti atmosferici.

• Sono necessarie misure di protezione da raggi UV, umidità e funghi in caso di determinate condizioni climatiche.

• Il criterio decisivo per la scelta del tipo di colla è l'esposizione all'umidità (tensioni nei giunti incollati da parte di rigonfiamenti e contrazione dei singoli strati).

• Il pericolo di infestazione da parte di insetti nel complesso è ridotto.

Pannelli di particelle legati con resine sintetiche

• Pericoli causati da influssi climatici, sollecitazioni meccaniche eccessive e parassiti vegetali o animali, non adatti per l'utilizzo all'aperto.

• Sono necessarie misure di protezione contro raggi UV, umidità e funghi in caso di particolari condizioni climatiche.

• In generale non vengono attaccati dagli insetti (eccezione: termiti).

Pannelli dì particelle legati con cemento

• Elevata resistenza agli agenti atmosferici.

• Elevata resistenza ai parassiti.

Pannelli di fibre

• Misure di protezione contro raggi UV, umidità e funghi in caso di particolari condizioni climatiche e necessità di protezione durevole in caso di impiego all'aperto.

• In generale non soggetti all'attacco di insetti (eccezione: termiti).

Pannelli da costruzione leggeri

• Se protetti dagli agenti atmosferici hanno una durata praticamente illimitata.

• Resistenti a funghi, insetti e termiti.

Parametri fisici dei materiali derivati dal legno

Gruppo HWS (materiali derivati dal legno)	Tipo di pannello (breve descrizione)	Abbreviazione	Spessore pannello in mm	Densità	Rigonfiamento nel senso dello spessore[29]	Umidità del legno di compensazione u_0 (%) con umidità relativa dell'aria (%) conforme a DIN 68.100, dicembre 1984			Quota di ritiro e rigonfiamento, coefficienti secondo DIN 1052[1] parte 1, aprile 1988	Resistenza alla diffusione del vapore acqueo, valori indicativi secondo DIN 4108[2]	Conduttività termica, coefficiente secondo DIN 4108 parte 4, dicembre 1985	Conduttività del vapore
				(kg/m³)	q%	30	65	85	(%)	μ	λ (W/mK)	λ_0 (mg/mhPa)
Compensato	Compensato impiallacciato per costruzioni	BFU							0,02	50/400	0,15	
	Compensato impiallacciato di faggio per costruzioni	BFU-BU		≥ 690[3]		5	10	15				
	Compensato a liste per costruzioni	BST								50/400	0,15	
	Compensato a listelli per costruzioni	BSTAE										
	Compensato impiallacciato	FU	4-60[4]	400-800[4]								
	Compensato a liste e listelli	ST, STAE	10-60[4]	400-600[4]		5	10	15		50/400 (320-700)[4]	0,15 (0,10-0,16)[4]	0,002-0,009
Pannelli di particelle	Pannelli di particelle pressati piani	FPY FPO V 20 V 100	6-13[5] 13-20[5] 20-25[5] 25-32[5] 32-40[5]	680-750[5] 620-720[5] 600-700[5] 580-680[5] 550-650[5]	8[30]							0,009-0,014[4] 0,009-0,018[7]
		V 20			16[8]	6	10	15	0,035	50/100	0,13	
		V 100 V 100 G			12[8]	5[9]	11[9]	19[9]				
	Pannelli di particelle estrusi	SV, SR								20	0,17	
	Pannelli di particelle legati con cemento	–		ca. 1200[10]	3[11]				0,03[11]	ca. 45[11]	0,26[11]	0,00187[4]
	Pannelli di particelle legati con magnesite	–		ca. 850[10]								
	Pannelli di particelle legati con gesso	–		1000-1200[10]								
Pannelli di fibre	Pannelli di fibre di legno per l'edilizia	HFH 20	≥ 4[12]	≥ 950[12]	18/20[13]	4	7	11	0,035[14]	70[15]	0,17[15]	
		HFM 20	≥ 6[12]	≥ 650[12]	15[16]							
	Pannelli extrarigidi	HFE		> 1000[4]						80-90[4]	0,10-0,20[4]	0,007-0,008[4]
	Pannelli di fibre di tipo duro	HFH		> 800[17]					0,04[18]	70[15]	0,17[15]	0,009-0,0012[4]
	Pannelli di fibre di tipo medio	HFM		≥ 350-800[17]					0,04[18]	40-60[4]	0,07-0,085[4]	0,011-0,016[4]
	Pannelli di fibre porose	HFD		230-350[17]	8[19]					5	0,045[20] 0,056[21]	0,009-0,16[4]
	Pannelli di fibre bitumose	BPH		230-400[22]	≥ 7[23]							0,065[4]
Pannelli per costr. leggere	Pannelli strutturali leggeri in lana di legno	L		360-800[24]					ca. 0,04[11]	2/5	0,15/0,093[25]	
	Pannelli strutturali leggeri multistrato	M		375-800[26]						20/70	0,04[27] 0,15/0,093[28]	

1) Valori validi per piano del pannello per % di umidità del legno inferiore al livello di saturazione delle fibre.
2) Va impiegato ogni volta il valore meno favorevole per la costruzione.
3) *informationsdienst Holz* (Servizio informazioni sul legno), *Bau-Furniersperrholz aus Buche,* 1988 (Pannelli di compensato da costruzione in faggio).
4) *Studia Impuìsprogramm Holz* (Studio di rilancio del legno), Svizzera 1988 (non pubblicato).
5) *Holzwerkstoffe im Bauwesen* (Materiali da costruzione in legno), *Informationsdienst Holz,* 1981 (Servizio informazioni sul legno).
6) *Stuòie Impuìsprogramm Holz* (Studio di rilancio del legno), Svizzera 1988 (non pubblicato), valore valido per densità pannello 600 kg/m³.
7) *Stuòie Impuìsprogramm Holz* (Studio di rilancio del legno), Svizzera 1988 (non pubblicato), valore valido per densità pannello 600 kg/m³.
8) Valori massimi secondo DIN 68.763, luglio 1980 per V 20, V100, V100 G dopo 24 ore di immersione in acqua.
9) Valori validi soltanto per pannelli di truciolare legati con resine fenoliche.
10) *Holzlexikon,* Stoccarda 1988.
11) *HolzauSenverwendung im Hochbau,* Stoccarda 1981.
12) Valori minimi secondo DIN 1052 parte 3, aprile 1988.
13) Valori limite per d > 4 mm / d < 4 mm secondo DIN 68.754 parte 1, febbraio 1976
14) Quota di ritiro differenziale nel piano del pannello secondo DIN 68.100, dicembre 1984.
15) Per densità 1000 kg/m³.
16) Valore limite per d = 6-16 mm secondo DIN 68.754 parte 1, febbraio 1976.
17) Secondo DIN 68.753, gennaio 1976.
18) Secondo DIN 1052 parte 3, bozza febbraio 1979.
19) Valore medio ammissibile secondo DIN 68.750, aprile 1958.
20) Per densità s 200 kg/m³.
21) Per densità < 300 kg/m³.
22) Secondo DIN 68.752, dicembre 1974.
23) Valore medio secondo DIN 68.752.
24) Secondo DIN 1101, marzo 1980.
25) Valori validi perd = 15mm/d≥25mm.
26) Secondo DIN 1104 parte 1, marzo 1980.
27) Valore valido per pannelli in espanso.
28) Valori validi per strati di lana di legno (strati singoli) d = 10-25 mm / d ≥ 25 mm, strati in lana di legno (strati singoli) con d < 10 mm non possono venire considerati per il calcolo delia permeabilità 1 /►.
29) Valori che dipendono dai rispettivi procedimenti di prova standardizzati.
30) Valori dopo 2 ore di immersione in acqua.

Protezione del legno: sollecitazione del legno da parte di agenti meccanici, fisici, biologici e chimici

Agenti	Effetti	Possibili conseguenze	Possibili danni
Sole radiazione UV a onde corte	• Attacco fotochimico del legno • Degradazione della sostanza lignea vicina alla superficie per fotolisi (depolimerizzazione della cellulosa)	• *Colorazione anomala: ingiallimento, imbrunimento* • Possibile aumento della capacità di assorbimento della superficie • Attacco di funghi cromogeni e licheni: colorazione anomala del legno, ingrigimento	
Sole radiazione a onde lunghe, cambio di temperatura	• Oscillazioni della temperatura e umidità del legno • Essiccamento causato da riduzione dell'umidità • Tensioni, variazioni dimensionali causate da rigonfiamento e ritiro • Sollecitazione meccanica dell'elemento costruttivo	• Mancanza di ermeticità, formazione di fessure e incrinature, danni alla vernice • Possibile aumento dell'umidità • Attacco di funghi cromogeni e xilofagi in seguito a eccessiva umidità del legno • In seguito possibile attacco delle superfici del legno non protette nelle fessure da parte di insetti	• Marciume • Distruzione del legno
Vento	• Erosione della sostanza lignea • Invecchiamento della massa sigillante	• Mancanza di ermeticità	
Pioggia	• Dilavamento delle sostante contenute nel legno e dei prodotti degradabili della fotolisi	• Alterazione nell'area superficiale, colorazione anomala: scolorimento, sanguinamento • Indebolimento meccanico • Aumento dell'assorbimento di acqua della superficie	
Pioggia, umidità del suolo, umidità dell'aria, spruzzi d'acqua, rugiada	• Aumento dell'umidità, sollecitazioni • Cambiamenti dimensionali causati da ritiro e rigonfiamento	• Attacco di funghi cromogeni e xilofagi	• Marciume, distruzione del legno
Metallo (ad es. nelle parti *di collegamento)*	• Forte conduzione termica nei metalli • *Reazione chimica delle* sostanze contenute nel legno (valore del pH) con i metalli	• Formazione di condensa e di brina • Colorazione anomala del legno (ad es. reazione *ferro-acido tannico)*	• Marciume, distruzione del legno • *Corrosione di metalli*
Prodotti chimici	• Reazione chimica dei mezzi protettivi del legno con adesivi e materiali delle parti di collegamento	• Influsso negativo di incollaggio e verniciatura • Corrosione di materiali sintetici e metalli	• Distruzione delle superfici • Distruzione del mezzo di collegamento

Zone a rischio

- Passaggio terra-aria.
- Passaggio acqua-aria.
- Zona soggetta a spruzzi d'acqua.
- Fughe di costruzione aperte.
- Fessure all'aperto.
- Elementi costruttivi poco ventilati.
- Punti di collegamento e di contatto dì elementi costruttivi.
- Montante inferiore di finestre.
- Estremità di travi murate nel caso di pareti senza sufficienti protezioni contro l'acqua e l'umidità.
- Unioni in metallo/legno.
- Pilastri annegati nel calcestruzzo.

Obiettivi/principi protettivi

- Evitare l'aumento dell'umidità.
- Ritardare l'assorbimento dell'umidità, ovvero ventilare per consentire l'emissione dell'umidità.
- Ridurre le variazioni di volume dovute a rigonfiamenti e ritiri.
- Adozione di misure protettive contro l'infestazione di funghì e parassiti del legno.

Misure protettive preventive

- In edilizia la protezione del legno è regolata dalla norma DIN 68.800. La parte 1 del maggio 1974 contiene affermazioni sull'importanza della protezione del legno, delle misure protettive, della loro pianificazione e sui requisiti di coloro che sono incaricati di attuarle. La parte 2 del gennaio 1984 riporta le misure costruttive preventive che di seguito vengono suddivise per argomento. La parte 3 dell'aprile 1990 regola la protezione chimica preventiva del legno massello. Nella parte 4 del maggio 1974 (edizione luglio 1986) vengono trattate le misure da adottare contro le infestazioni di funghi e parassiti del legno, mentre nella parte 5, attualmente disponibile come bozza del gennaio 1990, si fa riferimento alla protezione chimica preventiva dei materiali in legno.

Utilizzo di legno e leganti a seconda del tipo di materiale

Concetto

- Scegliere le essenze e gli additivi idonei, prendere in considerazione le caratteristiche del materiale.

Misure idonee

- Per elementi costruttivi soggetti alle sollecitazioni corrispondenti usare essenze con caratteristiche meccaniche favorevoli e buona rigidità, per elementi costruttivi particolarmente a rischio scegliere essenze con resistenza accresciuta (soltanto durame),
- Conformare gli elementi costruttivi in base all'andamento dell'anello annuale, all'anisotropia ed eventualmente in base anche alla crescita combinata (incisione del legno adeguata per costruzioni particolarmente soggette a sollecitazioni).
- Impiegare il legno con il contenuto di umidità corrispondente al clima ambientale successivo.
- Considerare le diverse capacità di assorbire l'umidità dei vari tipi di legno.
- Calcolare in maniera approssimativa e, durante l'uso, controllare le variazioni dimensionali del legno previste.
- Considerare dal punto di vista costruttivo all'atto del perfezionamento dei dettagli e della scelta del legante; il fissaggio non deve impedire variazioni delle dimensioni dovute a rigonfiamenti e ritiri.
- Impiegare additivi idonei di qualità corrispondente che restino pienamente funzionali per lungo tempo: ad esempio leganti metallici che non scolorino, composti di materiale zincato o antiruggine (anche in caso di disposizione nascosta), collanti resistenti, sostanze impermeabilizzanti efficienti.
- Diminuire le tensioni dovute a rigonfiamenti e ritiri mediante scanalature di sicurezza.
- Evitare superfici frontali orizzontali a rischio d'acqua (ad esempio disponendo a scarpa oppure rivestendo le superfici orizzontali).
- Adottare misure protettive per superfici in legno tagliato trasversalmente, estremità di capriate, cavità e trapanature (a causa di un assorbimento dell'umidità particolarmente veloce e intenso), ad esempio disponendo a scarpa oppure rivestendo la superficie, dando più mani di vernice per riempire i pori (nel caso delle superfici in legno tangenziali, la durata delle verniciature è maggiore sul lato sinistro della tavola - rivolto verso l'esterno nel tronco - rispetto al destro, rivolto verso l'interno).
- Le parti di legno sottoposte a prove in condizioni climatiche ricreate artificialmente devono essere controllate ed eventualmente possono essere sottoposte a trattamento successivo.

Protezione del legno dal punto di vista organizzativo

Concetto

- Coordinare i livelli di lavorazione e trasformazione del legno, evitare aumenti di umidità durante la fase di costruzione (trasporto, magazzinaggio, installazione).

Misure idonee

- Stoccare il legno su basi di appoggio e sotto una pensilina.
- Effettuare una copertura veloce della costruzione oppure apporre una pensilina provvisoria.
- Evitare un elevato assorbimento dell'umidità proveniente da calcestruzzo, muratura, intonaco (idonea eliminazione dell'umidità, rispetto dei tempi di attesa prima di impiegare il legno).
- Fare attenzione al pericolo proveniente da funghi e batteri quando le parti in legno restano chiuse per troppo tempo (da 8 a 12 giorni per le normali travi e le assi di compensato di normali dimensioni) in imballaggi di plastica impermeabili che non consentono il passaggio dell'aria.

Protezione del legno dal punto di vista costruttivo

Concetto

- Attuare misure costruttive per impedire che nel legno prodotto in modo scorretto si instaurino condizioni (umidità elevata) che consentano lo sviluppo di parassiti del legno.
- Garantire l'essiccazione rapida degli elementi costruttivi umidi.

Misure idonee

- Evitare il contatto con le precipitazioni atmosferiche prevedendo tetti sporgenti e un arretramento a piani della facciata.
- Deviare rapidamente le precipitazioni mediante idonei profili, protezioni, gocciolatoi ecc.
- Impedire che l'acqua penetri nei giunti di costruzione attraverso la copertura.
- Evitare o rivestire gli angoli, le scanalature e i giunti in cui l'acqua va a depositarsi (sacche d'acqua e di neve).
- Evitare che l'umidità penetri nel legno con spruzzi d'acqua (distanza dal terreno ≥ 30 cm, rivestimenti, colonnati, vernici isolanti).
- Proteggere dall'umidità di risalita proveniente dal terreno o dal manufatto, impermeabilizzare la platea di fondazione dalla parete esterna applicando strati isolanti.
- Evitare la formazione di condensa nella sezione trasversale dell'elemento costruttivo scegliendo una struttura non soggetta a condensa, idonea sequenza degli strati nella sezione trasversale dell'elemento costruttivo (eventualmente rimedi mediante smorzatori di vapore dal lato del locale, blocchi al vapore e/o ventilazione posteriore dello strato soggetto a condensa).
- Allontanare dalle parti in legno la condensa formatasi prevedendo spazi cavi sufficientemente ampi, aperture per lo scarico dell'acqua nella calotta di rivestimento.
- Evitare la formazione di condensa sulla superficie ai lati del locale mediante una sufficiente resistenza al passaggio del calore dell'elemento costruttivo; in casi estremi modificare il clima del locale (ad esempio: riscaldamento, ventilatore).
- Provvedere a un'adeguata ventilazione dei locali umidi.
- Tenere lontana l'umidità dal rivestimento di tavole o dal rivestimento ai lati del locale utilizzando superfici, verniciature, rivestimenti idrorepellenti quando non è garantita l'asciugatura tempestiva dell'acqua che si è infiltrata (ad esempio nei bagni).
- Attuare una ventilazione posteriore delle pannellature.
- Proteggere le superfici in legno dai raggi ultravioletti e dalle sollecitazioni termiche mediante rivestimenti.
- Evitare le parti metalliche passanti, ad esempio nel caso di collegamenti di spazi interni con l'esterno, eventualmente "tappare" le estremità di aste e perni con tasselli in legno apposti dall'esterno.

Protezione chimica

Concetto

- Applicare sostanze protettive chimiche per prevenire le infestazioni di funghi e parassiti del legno.
- In base alla loro composizione, esse vengono distinte in sostanze idrosolubili (costituite in prevalenza di sali organici), oleose (ad esempio olio di catrame di carbon fossile), a base di solventi e concentrati di emulsioni.
- Le sostanze protettive del legno usate contengono in genere veleni sotto forma di principi attivi biocidi.

Campo d'applicazione

DIN 68.800 parte 3 indica le classi di pericolosità per la valutazione dei mezzi necessari per la protezione chimica del legno. Le misure di protezione adeguate sono classificate e descritte secondo le singole classi di rischio.

Si ricorda espressamente che prima di passare all'adozione di misure di natura chimica, occorre sfruttare a fondo quelle di tipo costruttivo.

In linea di principio è necessario effettuare una protezione chimica soltanto se si teme che funghi e/o gli insetti possano infestare e distruggere il legno.

Se l'umidità del legno si mantiene intorno al 20%, non vi è alcun rischio di infestazione da parte di funghi. I rivestimenti oppure un'umidità inferiore al 10% eliminano il rischio di infestazioni di insetti. Se il legno rimane all'aperto, e quindi l'infestazione di parassiti del legno è sotto controllo, si potrà fare a meno di eseguire una protezione chimica.

Problematiche
- Pericolosità igienica ed ecologica a causa dell'evaporazione delle sostanze attive e dei solventi.
- Possibili reazioni chimiche tra le sostanze protettive del legno e i componenti dei leganti.

Protezione biologica

Concetto
- In senso proprio: impiego di nemici o di esche naturali; nel senso della biologia delle costruzioni: misure protettive o preparati presumibilmente non dannosi per l'uomo.

Misure idonee
- Trattamento del legno con impregnazioni idrosolubili a base di sale borico (miscele di borace, acido borico), cera (cera dura, balsami, soluzioni), prodotti a base di resine naturali (vernici, oli, vernici trasparenti), oli, aceto di legno, catrame di legno, pece, preparati con oli essenziali di agrumi ovvero estratti di specie di legno naturalmente resistenti.

Problematiche
- Allo stato attuale le misure protettive biologiche non sono autorizzate.
- Ad eccezione dei leganti borici, non è stato provato che esse siano sufficientemente efficaci.
- Talvolta i tempi di essiccamento della vernice sono piuttosto lunghi e sono necessari trattamenti successivi.

Trattamento di superficie

Impregnazioni
- Adoperando i biocidi, si ottengono una superficie idrorepellente e una protezione dagli insetti e dai microrganismi.
- A pori aperti, senza formazione di pellicola, penetrante,
- È possibile impiegare pigmenti colorati per contraddistinguere il tipo di impregnazione.

Velature
- Trattamento intermedio tra impregnazione e verniciatura ottenuto frenando la capacità di penetrazione e con la formazione di una pellicola superficiale relativamente sottile; a seconda del contenuto di pigmenti è possibile riconoscere il disegno del legno in misura maggiore o minore.
- Protezione dai raggi ultravioletti con possibilità di regolare il grado di pigmentazione, buona capacità di diffusione de! vapore.

Verniciature
- Formano una superficie chiusa, idrorepellente e resìstente all'attrito, la permeabilità al vapore può essere ridotta notevolmente in modo da inibire quasi del tutto lo scambio di umidità tra legno e aria. Si distinguono:

a) verniciature incolori e trasparenti
- con formazione dì pellicola, poco penetranti, superficie da lucida a semilucida e levigata;
- protezione dai raggi UV insufficiente, non fungicide;

b) verniciature coprenti
- con formazione di pellicola, appena penetrante, superficie generalmente lucida e levigata;
- buona protezione dai raggi UV, raramente fungicida.

Vernici disperdenti
- Rivestimento coprente, come solvente si usa l'acqua, la pigmentazione varia dalla velatura alla vernice coprente.
- Con formazione di pellicola, non penetrante, notevole capacità di rigonfiarsi con l'acqua, per cui la diffusione del vapore non viene impedita in modo considerevole; superficie opaca; se lo spessore è scarso viene messa in risalto la struttura.
- Buona protezione dai raggi UV; possono essere aggiunte sostanze fungicide.

Coloritura
- Colorazione del legno mediante applicazione di pigmenti (coloritura con pigmenti o con coloranti) oppure mediante processi chimici (coloritura chimica), la venatura del legno rimane visìbile e può essere intensificata a seconda del metodo di coloritura.
- Non presenta alcuna funzione protettiva, pertanto le superficì sottoposte a coloritura sono molto sensibili all'umidità e, nel caso siano state sottoposte a coloritura con pigmenti, anche alla luce.
- A differenza delle velature e delle verniciature, le coloriture possono essere asportate soltanto piallando o carteggiando.

Cere
- I pori e le piccole crepe vengono riempiti, la capacità dì diffusione dei vapore è in gran parte conservata.
- Rispetto alle vernici e alle velature sono meno resìstenti alle abrasioni e agli effetti del calore e dell'acqua.
- Di regola, prima di procedere all'applicazione della cera, si consiglia di effettuare un'impregnazione.
- Adatte soprattutto per superfici levigate e secche destinate a interni.

Oli
- È il metodo più semplice, più economico e sicuramente più ecologico di trattamento delle superfici, tuttavia presenta una scarsa resistenza (soprattutto alle sollecitazioni meccaniche).
- Vengono considerate soprattutto vernici a base di olio di lino, vernici vegetali e semioli,
- Rispetto alla cera, offrono una migliore protezione dall'umidità e dallo sporco.

Esterni
- Per le parti in legno destinate a essere installate all'esterno, e quindi esposte direttamente ai raggi del sole, bisogna usare innanzitutto vernici e velature da chiare e forti a coprenti, in modo da minimizzare le tensioni superficiali provocate dagli effetti termici (rigonfiamenti e ritiri) (gli elementi costruttivi verniciati di nero si riscaldano fino a 70 °C, quelli verniciati di bianco soltanto fino a circa 40 °C).
- Per aumentare la resistenza delle verniciature è consigliabile smussare gli spigoli.
- È consigliabile eseguire le verniciature interne con un preparato più impermeabile al vapore di quello usato per le verniciature esterne (velatura a vernice all'intemo/velatura sottile all'esterno), in modo da evitare che il colore della verniciatura esterna si sfaldi a causa della diffusione del vapore; le vernici a base di acqua oppure olio di lino sono più impermeabili al vapore di quelle a base di resine sintetiche.
- i legnami delle latifoglie contengono meno resina, per cui sono più indicati dei legnami delle conifere; i legnami ricchi di resina (in particolare legno di pino e di larice) esposti ai raggi del sole non dovrebbero essere verniciati con velature scure (trasudamento della resina, formazione di macchie).

Norme DIN
relative alle costruzioni in legno

DIN 1052
Costruzioni in legno, aprile 1988
Vale per il calcolo e l'esecuzione di costruzioni e di elementi costruttivi portanti e di rinforzo in legno e materiali derivati dal legno; vale anche per costruzioni volanti (vedi DIN 4112), ponteggi e centrature, puntellamenti e supporti di casseforme (vedi DIN 4420 parte 1 e parte 2. così come DIN 4421) e per ponti di legno (vedi DIN 1074), a meno che in queste norme non sia stabilito diversamente. La norma DIN 1052 è composta da tre parti, la parte 1 tratta del calcolo e dell'esecuzione, la parte 2 dei collegamenti meccanici del legno e la parte 3 delle case di legno eseguite mediante costruzione a cannelli.

DIN 1055
Assunzione del carico per fabbricati, da giugno 1971 a giugno 1987
I valori contenuti in questa norma per la determinazione dei carichi propri e dell'angolo di attrito indicato valgono per i calcoli della stabilità e delle dimensioni delle costruzioni. Esse non sono adatte per la dimostrazione dell'isolamento acustico.

DIN 1074
Ponti di legno, febbraio 1989 (Bozza)

DIN 4070
Legno di conifere, misure di sezione e valori statici per segati da gennaio 1958 a ottobre 1963

DIN 4071
Tavole e tavoloni di legno di conifere non piallati, dimensioni, aprile 1977

DIN 4072
Tavole scanalate in legno di conifere, agosto 1977

DIN 4073
Tavole e tavoloni piallati in legno di conifere, dimensioni, aprile 1977

DIN 4074
Classificazione del legno di conifere secondo la resistenza, segati di conifere, settembre 1989
Vale per segati di conifere le cui sezioni vanno misurate secondo la resistenza. Questa norma stabilisce le caratteristiche di classificazione e le categorie come premessa per l'applicazione di coefficienti per la prova di stabilità secondo, ad esempio, DIN 1052 parte 1 o DIN 1074.

DIN 4074 foglio 2
Requisiti di qualità per legno tondo da costruzione (legno di conifere), dicembre 1958
Questi requisiti di qualità valgono per la selezione e l'impiego di legni tondi da costruzione (legno di conifere ad eccezione di *Pinus excelsa)* le cui sezioni vengono misurate secondo la resistenza.

DIN 4076
Denominazione e abbreviazioni nel settore del legno da gennaio 1974 a ottobre 1985

DIN 4102
Comportamento al fuoco di materiali ed elementi costruttivi
La norma DIN 4102 attualmente valida è composta essenzialmente da 18 parti. La parte 1 disciplina l'esame e la classificazione del comportamento al fuoco di materiali costruttivi e le parti 2,3, 5,5E, 6, 7-18 l'analisi e la classificazione di elementi costruttivi,
La parte 4 contiene un riepilogo dei materiali e delle parti costruttive, che sono testate e classificate secondo DIN 4102 parti 1-7. Nell'impiego dei materiali e degli elementi costruttivi elencati in questa parte e delle condizioni marginali indicate sempre nella norma DIN 4102 viene soppressa la richiesta prova ufficiale del comportamento al fuoco, Nella parte 8 viene descritta la prova speciale che serve all'esame di infiammabilità dì materiali e sezioni di elementi costruttivi, per i quali devono venire stabilite determinate proprietà tecniche per la protezione antincendio,

Per l'architetto e l'ingegnere sono importanti le parti 2 e 4 della norma DIN 4102. Attualmente sono valide le parti 2 del settembre 1977 e 4 del marzo 1981. Oltre agli elementi costruttivi testati e classificati, che sono compresi nella parte 4, vengono considerati nella classificazione anche gli elementi costruttivi dotati di certificato di prova valido. Fondamentalmente va prestata attenzione al fatte che per tutti gli elementi costruttivi la classificazione ha validità soltanto se vengono soddisfatte le premesse e le condizioni marginali indicate nella norma o nel certificato di prova. Per gli elementi costruttivi contenenti o meno il legno che non sono trattati nella norma DIN e che non possiedono un idoneo certificato di prova, nel singolo caso il grado di infiammabilità va certificato tramite prove ai sensi della norma DIN 4102 parti 1 -3 oppure 5-18.

DIN 4108
Isolamento termico nell'edilizia, aprile 1982
Contiene i requisiti per l'isolamento e l'accumulo termico, così come le indicazioni tecniche per la progettazione e l'esecuzione di locali negli edifici che vengono riscaldati in modo appropriato con temperatura interna normale (≥ 19 °C).

DIN 4109
Protezione acustica nell'edilizia, novembre 1989
In questa norma sono stabiliti i requisiti di protezione acustica con l'obiettivo di proteggere le persone che si trovano nei locali, da inquinamento acustico causato da trasmissione del suono. Inoltre è disciplinato il procedimento di certificazione della protezione acustica richiesta.
La presente norma è valida anche per la protezione dei locali;
- da rumori provenienti da altri locali, ad esempio voce, musica o movimenti, spostamento di sedie e utilizzo di elettrodomestici;
- dai rumori degli impianti tecnici relativi all'abitazione e dall'esercizio dì attività nello stesso edificio o in edifici collegati;
- dal rumore esterno quale il traffico (stradale, ferroviario, aereo e d'acqua) e dal rumore di aziende e industrie collegate strutturalmente con i locali di soggiorno,
Questa norma non vale per la protezione nei locali di soggiorno:
- dal rumore proveniente da impianti tecnici domestici nel proprio settore abitativo, nei quali, quando gli impianti funzionano, sono costantemente presenti, o quasi, rumori più forti, che corrispondono a un picco di pressione acustica di 40 dB (A):
- dal rumore di aerei come disciplinato nella "Legge per la protezione contro il rumore aereo".

La norma DIN 4109 è composta da tre parti:
DIN 4109 Requisiti e certificazioni, allegato 1 alla norma DIN 4109, Esempi di esecuzione e procedimenti giuridici, e allegato 2 alla norma DIN 4109, Indicazioni per la progettazione ed esecuzione, raccomandazioni per una migliore protezione acustica, consigli per la protezione acustica nel proprio ambiente abitativo o lavorativo.

DIN 18.056
Pareti con finestre, giugno 1966
Vale per pareti con finestre con una superficie di almeno 9 m^2 e una lunghezza laterale di almeno 200 cm, che sono composte da un'ossatura portante (telaio, montante, traversa) e riempimenti (ad esempio, vetrature). Questa norma non vale per le pareti in mattoni di vetrocemento,

DIN 18.201
Tolleranze nell'edilizia, dicembre 1984

DIN 18.202
Tolleranze nell'edilizia civile, maggio 1986

DIN 18.230 parte 3
Tolleranze nell'edilizia civile, elementi costruttivi in legno e materiali derivati dal legno, agosto 1984

DIN 18,900
Costruzioni con piloni di legno, ottobre 1982
Vale per le costruzioni con piloni di legno. Essa è contraddistìnta dal fatto che almeno tre piloni di legno incastrati nel terreno di fondazione mediante un rivestimento in calcestruzzo senza l'ausilio di lastre di parete irrigidenti o di controventature nel piano della parete sostengono il tetto ed eventualmente le pareti esterne di un edificio a un piano e deviano nel terreno di fondazione le forze generate dal carico proprio delia costruzione e dalla neve e dal vento. La costruzione di tipo a piloni di legno può venire impiegata esclusivamente per costruzioni a un piano di tipo agricolo, ad esempio stalle, fienili, capanni, e per scopi analoghi, Essa non può venire applicata agli edifici con locali residenziali.

DIN 68.119
Scandole di legno, ottobre 1980
Vale per scandole per tetti in red cedar occidentale, abete rosso e bianco, larice, cedro bianco occidentale o quercia, che sono segati o scanalati su entrambi i lati oppure segati su un lato e scanalati sull'altro.

Din 68,120
Profili in legno, forme fondamentali, agosto 1968

DIN 68.121
Profili in legno per finestre e portefinestre parte 1 e parte 2, giugno 1990
La parte 1 vale per le dimensioni e i requisiti di qualità, la parte 2 contiene i fondamenti generali.

DIN 68.126
Pannelli profilati con scanalatura, luglio 1983.

DIN 68.127
Pannelli acustici, agosto 1970

DIN 68.128
Tavole per balconi, aprile 1977

DIN 68.140
Giunture multiple del legno, ottobre 1971
Vaie per giunture multiple di elementi costruttivi che devono venire calcolati secondo la norma DIN 1052 oppure che sono sottoposti a elevate sollecitazioni meccaniche (gruppo di sollecitazione I) e per finestre, pavimenti, sedie ecc. (è ammesso anche il gruppo di sollecitazione II),

DIN 68.141
Collegamenti del legno, ottobre 1969
Vale per la prova di colle e giunti incollati per elementi portanti in legno.

DIN 68.256
Caratteristiche di qualità di segati di legno, termini aprile 1976
Stabilisce la terminologia delle caratteristiche di qualità di legname di conifere e latifoglie. Vale per segati di legno non piallati, spianati e piallati, che non sono profilati.

DIN 68.360
Legno per lavori di falegnameria, requisiti di qualità, maggio 1981
Vale per parti prefabbricate in legno massiccio per lavori di falegnameria conformemente alia norma DIN 18.335.

DIN 18.334
Ordinamento di capitolato VOB per lavori edili, parte C: direttive tecniche generali per lavori di costruzione e lavori di falegnameria, 1988.

DIN 18.355
Ordinamento di capitolato VOB per lavori di costruzione, parte C: direttive tecniche generali per lavori di costruzione, lavori di carpenteria e costruzioni in legno, 1988.

DIN 68.364
Parametri dei tipi di legno, novembre 1979
Fornisce informazioni sulle proprietà elastiche, la rigidità e la resistenza di importanti legni commerciali. I valori di rigidità ed elasticità non possono venire trasmessi direttamente al legno da costruzione. Qui va tenuto in particolare considerazione l'influsso delle dimensioni e della qualità. Per gli elementi e gli impianti costruttivi portanti possono venire utilizzati per la certificazione di stabilità soltanto i parametri di materiale della norma DIN 1052.

DIN 68.365
Legno strutturale per lavori di falegnameria, requisiti di qualità, novembre 1957
Vale per la qualità che il legno strutturale per lavori di falegnameria deve avere al momento della messa in opera.

DIN 68.368
Segati di legno di latifoglie per costruzione di scale, requisiti dì qualità, novembre 1975
Vale per segati di legno di latifoglie duro (quercia, faggio o legno di valore analogo per l'idoneità) per la costruzione di scale.

DIN 68.369
Blocchi in faggio rosso, requisiti di qualità, aprile 1976

DIN 68.370
Segati dì quercia, requisiti di qualità, ottobre 1980

DIN 68.705
Compensato, da gennaio 1968 a dicembre 1981
Vale per pannelli in compensato impiallacciato (piallacci) FU compensato a liste (pannelli per carpentiere) ST e pannelli a listelli (pannelli per carpentiere) STAE.

DIN 68.740
Pannellature, marzo 1982
Vale per pannellature e cassettoni in materiali derivati dal legno con strati di copertura. Servono per il rivestimento di pareti e soffitti.

DIN 68.750
Pannelli di fibre di legno porosi e duri, requisiti di qualità, aprile 1958

DIN 68.751
Pannelli di fibre di legno decorativi nobilitati, novembre 1987
Vale per pannelli di fibre di legno decorativi nobilitati (KH), ad esempio per mobili e architettura d'interni,

DIN 68.752
Pannelli di fibre di legno bitumosi, requisiti di qualità, dicembre 1974

DIN 68.754
Pannelli di fibre di legno duri e medi per l'edilizia, febbraio 1976
Vale per pannelli di fibre di legno duri e semiduri che vengono impiegati nell'edilizia *per* scopi portanti e di irrigidimento.

DIN 68.761
Pannelli di particelle, pannelli pressati piani per scopi generali, novembre 1986

DI 68.762
Pannelli di particelle per scopi speciali nell'edilizia, marzo 1982

DIN 68.763
Pannelli di particelle, pannelli pressati piani per l'edilizia, luglio 1980

DIN 68.764
Pannelli di particelle, pannelli a estrusione per l'edilizia, settembre 1973

DIN 68.765
Pannelli di particelle, pannelli pressati piani decorativi nobilitati, novembre 1987

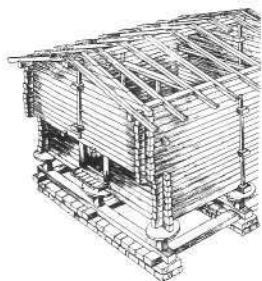
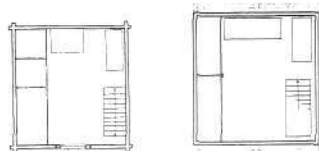
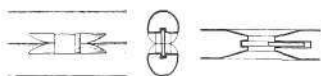
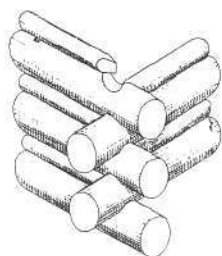
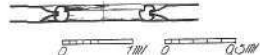
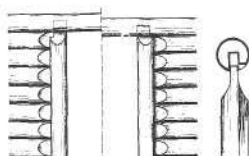
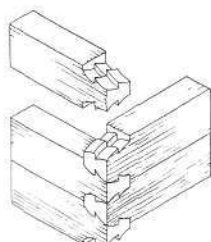
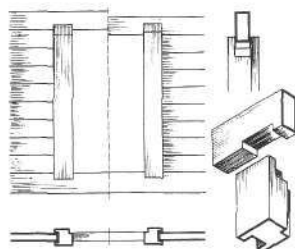
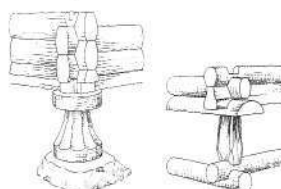
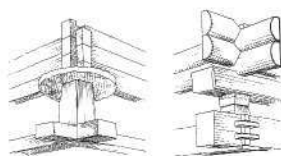
DIN 68.771
Impiantito in pannelli di particelle dì legno, settembre 1973
Vale per impiantiti in pannelli di particelle di legno per pavimenti in locali che sono destinati al soggiorno durevole di persone.

DIN 68.800
Trattamento protettivo del legno nell'edilìzia civile, vedi pagine 59-60

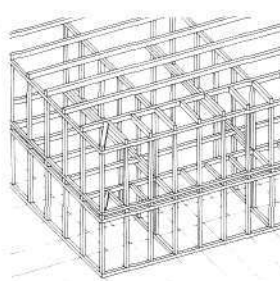
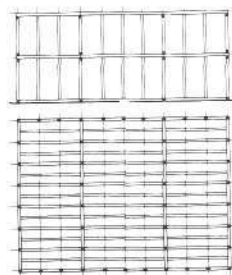
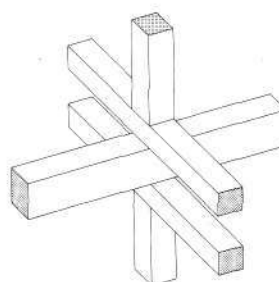
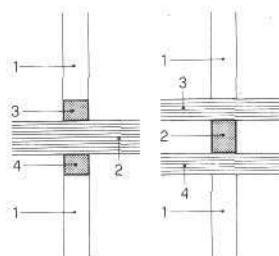
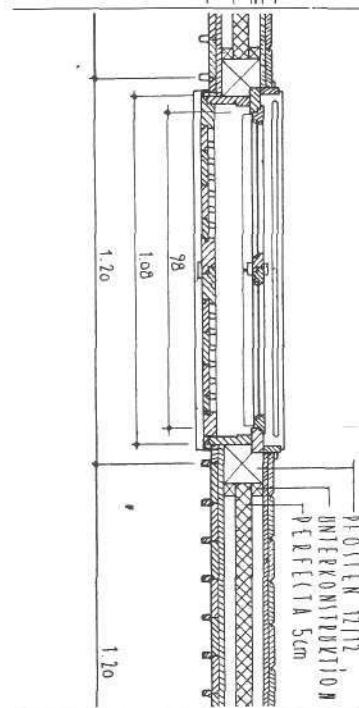
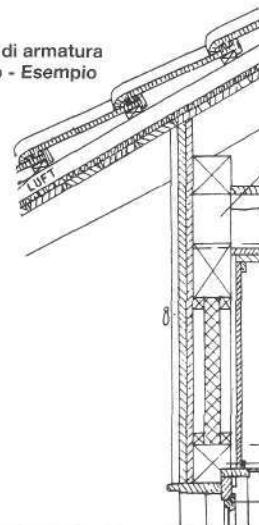
DIN 68.805
Trattamento protettivo del legno di finestre e porte esterne, ottobre 1983
Vale per elementi costruttivi esterni non portanti in legno massiccio e materiali derivati dal legno, nei quali sono ammissibili soltanto ridotte variazioni di sezione per effetto degli agenti atmosferici.

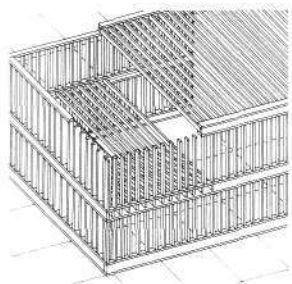
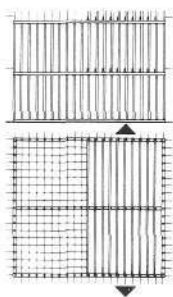
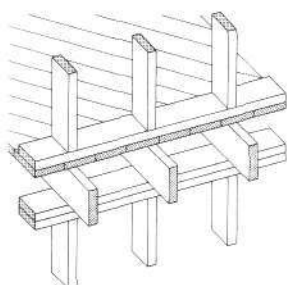
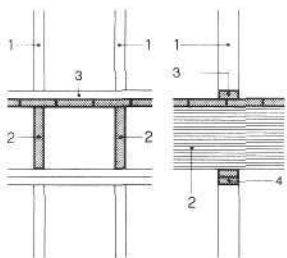
Metodi costruttivi

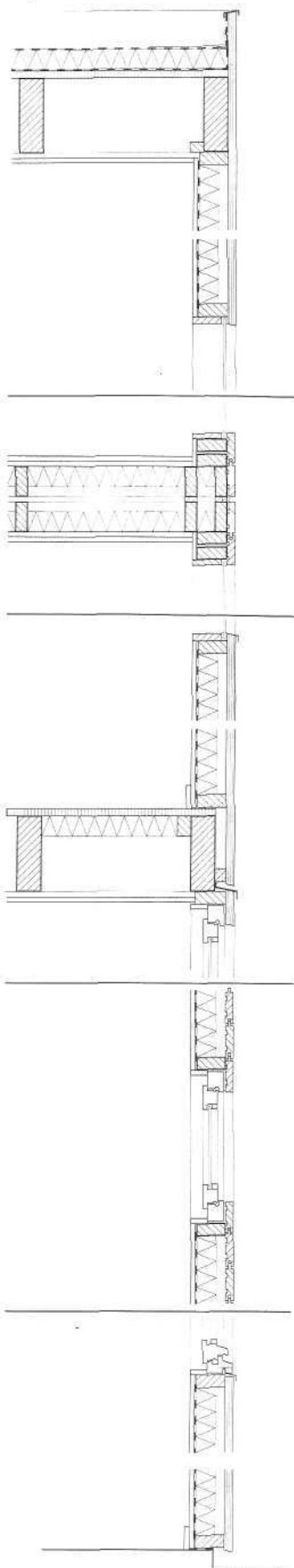
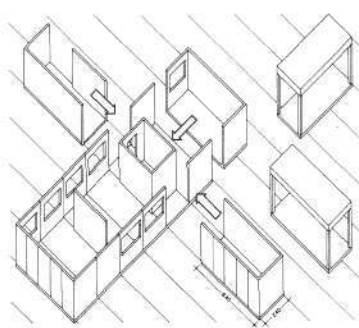
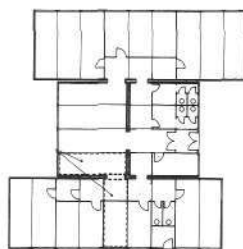
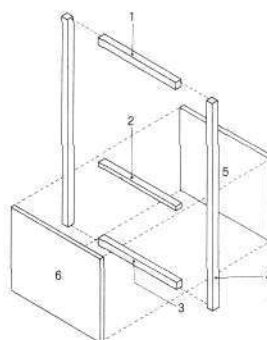
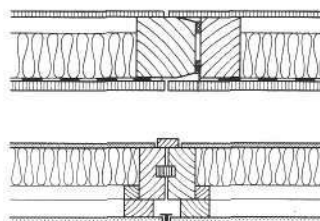
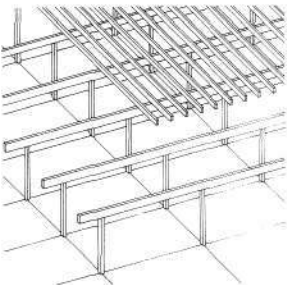
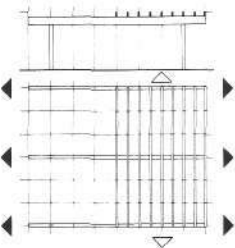
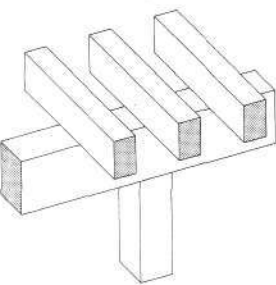
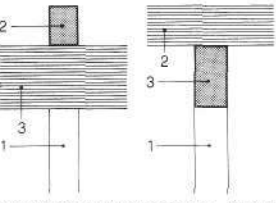
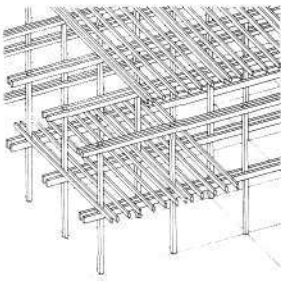
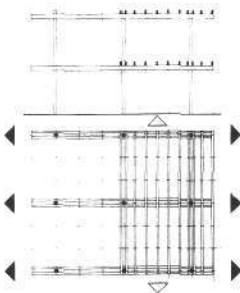
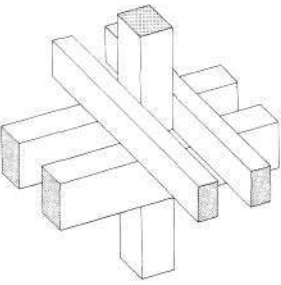
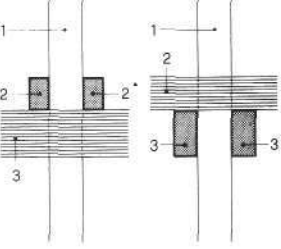
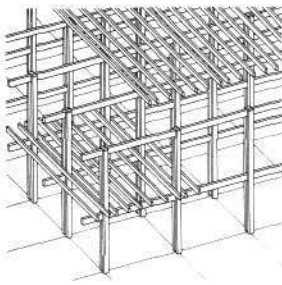
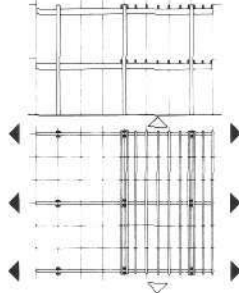
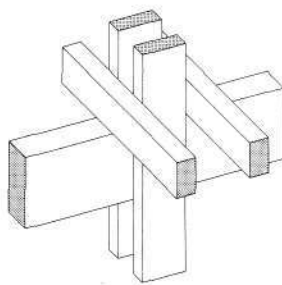
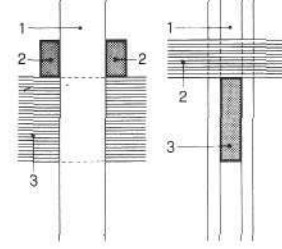
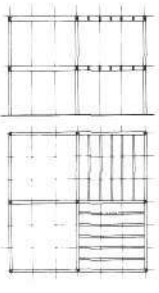
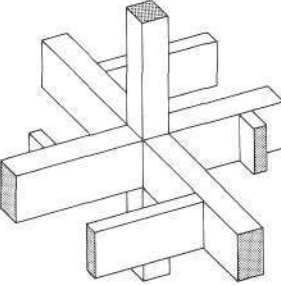
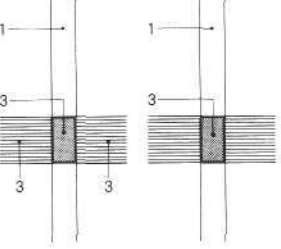
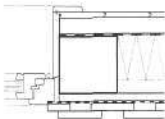
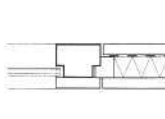
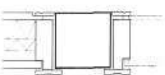
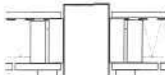
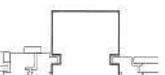
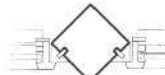
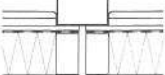
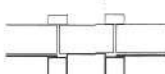
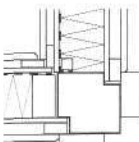
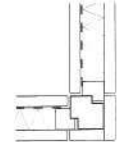
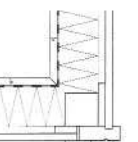
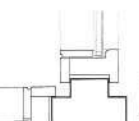
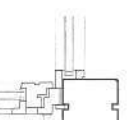
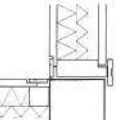
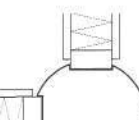
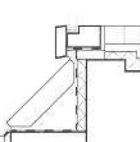
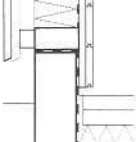
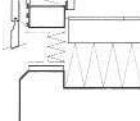
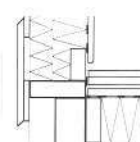
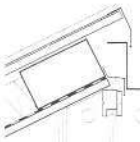
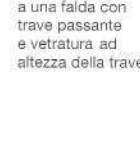
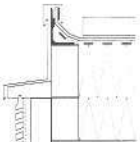
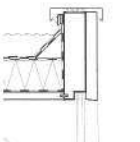
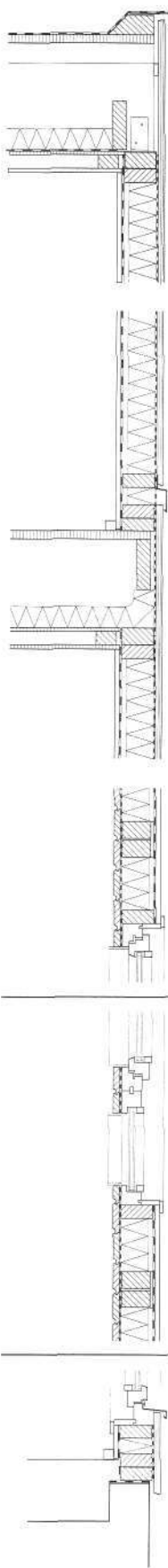
Armatura a blocchi

Dettaglio di armatura *a blocchi - Esempi*

Irrigidimento tramite effetto lastra della parete in legno massiccio

Aggetto possibile in entrambe le direzioni

Accoppiamento di forza tramite incastro a coda unilaterale delle sezioni di legno

Accoppiamento di forza tramite intaglio e incastro delle superfici di appoggio

da: 1981, Der Blockbau (*Armatura a blocchi*), Karlsruhe.

Armatura a traliccio

Dettaglio di armatura a traliccio - Esempio

Irrigidimento di regola tramite diagonali di pressione

Aggetto possibile in due direzioni

Collegamenti da carpentiere, è problematico il carico trasversale

1 montante, 2 trave, 3 trave orizzontale, 4 traversa

da: Holzbau, *Konstruktion* und Statik, San Gallo, 1946.

Costruzione a pannelli

Irrigidimento della costruzione montanti-traversi per mezzo di pannelli

Sporgenza possibile nella direzione della trave

Struttura sottile di solito con collegamenti inchiodati

1 montante, 2 trave, 3 soglia, 4 traversa

Dettaglio di costruzione a pannelli - Esempio

Costruzione a pannelli, prefabbricata

I pannelli prefabbricati vengono collegati sul posto. Irrigidimento dovuto all'effetto lastra dei pannelli.

Sporgenze non possibili

Facciata e strutture integrate
1 traversa,
2 rompitratta,
3 soglia,
4 montante,
5 pannello intero,
6 pannello esterno

Esempi di unioni di pannelli

Costruzione a pannelli prefabbricata - Esempio

Ossature con principi diversi

Travi continue	Montanti, travi principali e travi secondarie continue, travi principali e travi secondarie suddivise	Montanti, travi principali e travi secondarie continue, montanti suddivisi	Montanti continui, travi principali e travi secondarie su un piano
• Travi principali su montanti • Travi secondarie su travi principali • Costruzione a un piano	• Travi principali fissate lateralmente al montante • Travi secondarie appoggiate • Costruzione a due o più piani	• Trave principale fissata lateralmente al montante • Trave secondaria appoggiata • Montanti suddivisi	• Trave principale fissata frontalmente al montante • Trave secondaria fissata frontalmente alla trave principale
• Sporgenze possibili in entrambe le direzioni delle travi	• Possibilità di sporgenze in entrambe le direzioni	• Possibilità di sporgenze in entrambe le direzioni	• Impossibilità di sporgenze • Carico uniforme sulla trave principale grazie all'alternanza di direzione delle travi secondarie
• Nodi della costruzione con ridotto impiego di mezzi di connessione grazie all'appoggio della trave • Geometria semplice per facciate e finiture • Diverse altezze di costruzione e particolari della connessione di facciate e finiture a travi principali e traversi	• Trave principale e trave secondaria suddivise (incavallature) • Collegamenti più complessi tra trave principale e montante • Geometria complessa per facciata e finitura	• Montanti e travi secondarie suddivisi • Collegamenti più complessi tra travi principali e montanti • Geometria complessa per facciata e finitura	• Collegamento molto complesso di trave principale e montante, trave secondaria e trave principale • Geometria molto semplice per finitura e facciata
1 montante 2 trave secondaria 3 trave principale			

Abaco di particolari costruttivi tratti da esempi di facciate, classificati secondo punti di giunzione

Parte 3 • Fondamenti: struttura portante

Julius Natterer

Il diffondersi di una più consapevole coscienza ambientalista ci ha consentito di comprendere che soltanto con grandi sforzi è possibile sostenere i costi sempre più onerosi di gestione delle foreste. Una parte di tali costi può essere assorbita con un'amministrazione attenta, ossia sfruttando le foreste in modo da ottenerne un valore aggiunto e con un più razionale sviluppo della materia prima legno, utilizzandolo ad esempio come materiale da costruzione.
C'è un'unica possibilità che il legno possa trovare impiego come materiale da costruzione portante: quando il progetto di una costruzione punta molto sulla qualità. Oggi, per soddisfare le esigenze di forma e funzione è necessario ricorrere a progetti ingegneristici d'avanguardia. Questo, peraltro, non è possibile senza l'intervento di sviluppi tecnologici che derivano dalla creazione di modelli scientifici e teorici. Premessa irrinunciabile al raggiungimento di questo obiettivo sono l'intensificazione della ricerca e un grande sforzo nell'insegnamento.

Obiettivo della progettazione della struttura portante

Le costruzioni di legno sono opere complesse totalmente impegnate nell'assorbimento dei carichi. Esse possono servire per diversi scopi: case, coperture, saloni, ponti, torri, macchine e mezzi di trasporto come barche, aerei ecc., anche se ci limiteremo a considerare la metodica di progettazione per la costruzione di coperture, saloni, ponti e torri in cui l'assorbimento di carichi mobili, accidentali, carichi di neve, di vento ecc. è di fondamentale importanza per la stabilità dell'edificio. Le costruzioni in legno devono essere progettate indipendentemente dalle direttive fornite dai fabbricante, dai vincoli di produzione e di consegna. L'architetto e l'ingegnere agiscono come fiduciari del committente e sono responsabili verso l'opinione pubblica e l'ambiente.
Dal punto dì vista estetico e funzionale il responsabile del progetto è l'architetto, mentre l'ingegnere, integrando i suoi modelli con quelli dell'architetto deve valutare e garantire l'affidabilità del comportamento portante e l'utilizzabilità per il periodo indicato.

Criteri qualitativi di una costruzione in legno

Per la qualità di una costruzione in legno rivestono fondamentale importanza la scelta dei materiali, la tecnica dei mezzi di giunzione e la progettazione dei sistemi portanti, delle loro forme e il perfezionamento dei dettagli. Pertanto, architetto e ingegnere devono collaborare fin dalle prime fasi di progetto, ponendo così una base affidabile per realizzare costruzioni in legno rispettando criteri di convenienza che cercano di armonizzare il consumo di materiali con gli obiettivi architettonici, le esigenze funzionali e costruttive, da un lato, e con i costi, dall'altro. La convenienza C della costruzione può pertanto essere definita dal seguente rapporto:

$$C = \frac{\text{esigenze}}{\text{costi}}$$

Per l'architetto il criterio qualitativo fondamentale per un edificio è quello di dare concreta realizzazione alla forma, in cui la costruzione in legno lasciata a vista diventa l'espressione dell'architettura.
Per l'ingegnere le costruzioni in legno sono costituite da un insieme di sistemi portanti statici che, in combinazione con la forma, il tipo di materiale, la scelta dell'elemento di collegamento e la tecnica di lavorazione, possono dar luogo a un numero quasi infinito dì varianti.
La costruzione in legno dovrebbe, pertanto, essere in grado di assorbire, con una certa probabilità, tutti i carichi possibili, distribuendoli su tutta una struttura portante tridimensionale. In tal modo è possibile bilanciare le dispersioni nei valori delle proprietà dei materiali e nell'assorbimento dei carichi. Il bilanciamento si realizza con una probabilità vicino alla certezza: si garantiscono così affidabilità e utilizzabilità sul lungo periodo.
Ulteriori criteri qualitativi del progetto della struttura portante di una costruzione in legno sono, per l'ingegnere, la leggibilità della direzione delle forze ovvero la leggibilità della trasmissione del carico, in riferimento ai modelli statici stabiliti.
Per la valutazione di una struttura portante in legno è importante stabilire il consumo di materiale, che può essere ridotto nei modi seguenti:

- preferire le sollecitazioni normali (forze di compressione e di trazione);
- ridurre le sollecitazioni di coppia elevate;
- considerare in modo critico le sollecitazioni dì scorrimento;
- se possibile, impedire le sollecitazioni di eccentricità e di torsione;
- evitare le sollecitazioni di trazione trasversale da carico o da ritiro.

Sistematica della progettazione di una struttura portante nelle costruzioni in legno

Prestazioni dell'architetto

- Definire l'attribuzione dei compiti (piano territoriale, condizioni marginali derivanti dalla funzione e dalle disposizioni in materia di edilizia).

- Elaborare una bozza prendendo in particolare considerazione la funzione, l'energetica, l'aspetto.
- Coordinare gli altri tecnici che partecipano al progetto e inserire nella bozza tutti i contributi.
- Stilare un preventivo dei costi.

- Ottimizzare la bozza.
- Proporre e definire la geometria dell'edificio.
- Integrare i contributi tecnici.
- Descrivere l'oggetto e calcolare i costi.
- Chiarire se sia facilmente ottenibile il rilascio della concessione edilizia.

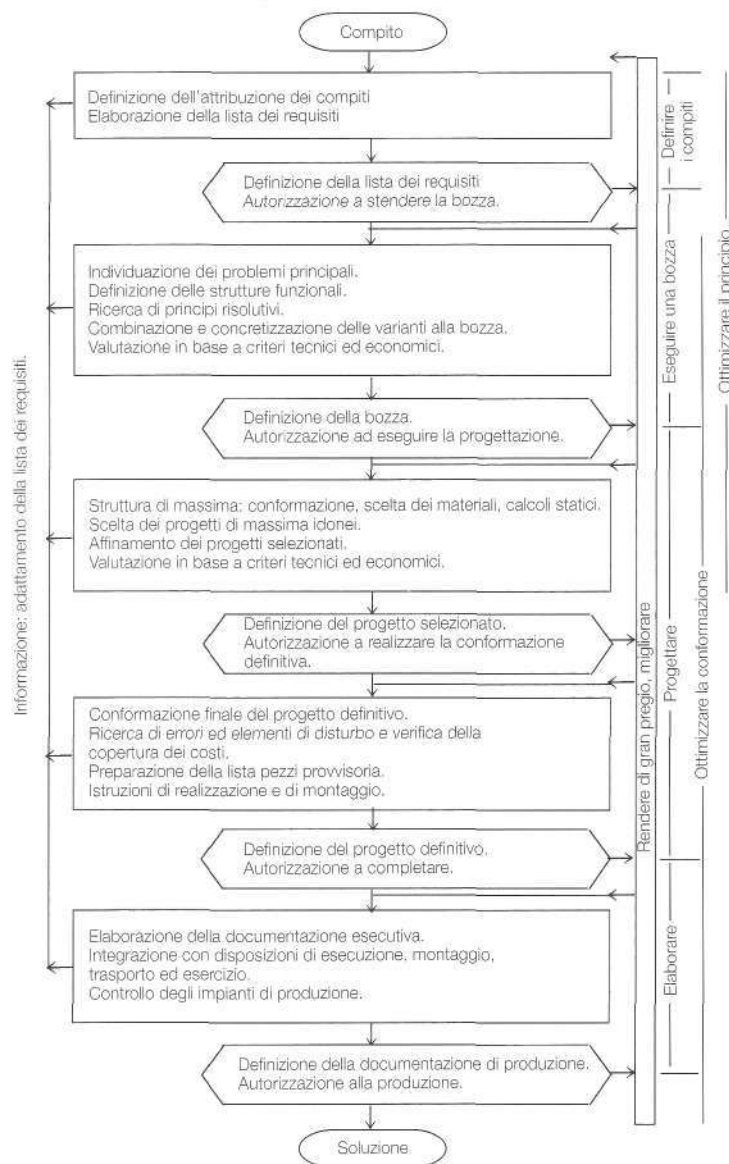
- Approntare la documentazione necessaria per ottenere la concessione edilizia in base alle vigenti disposizioni in materia.

- Rappresentare il progetto con tutte le Indicazioni necessarie per la sua realizzazione.
- Impartire le direttive di lavoro degli specialisti e inserire i contributi tecnici.

- Determinare le dimensioni.
- Descrivere le prestazioni.
- Armonizzare la descrizione dei tecnici coinvolti nel progetto.
- Raccogliere la documentazione di appalto e i capitolati.
- Raccogliere le offerte.
- Esaminare e valutare le offerte.

- Trattare con chi ha fatto le offerte e collaborare all'assegnazione dell'appalto.
- Stilare un preventivo dei costi.

È qui sotto riportato lo schema delie normali prestazioni attualmente necessarie nel campo delle costruzioni. Le attività dell'architetto e del progettista della struttura portante sono messe a confronto con il modo di procedere del "costruire metodico".

Fasi di lavoro per realizzare una costruzione

Prestazioni dell'ingegnere progettista della struttura portante

- Definire l'attribuzione dei compiti (condizioni marginali per la struttura portante, assorbimento del carico, premesse per le fondazioni).

- Piano di utilizzo con indicazione del carico e degli altri effetti sull'opera portante.
- Bozza della struttura portante.
- Bozza di sicurezza in accordo con le disposizioni in materia edile pertinenti al progetto.
- Varianti alla bozza.
- Consulenza in materia di struttura portante.
- Suggerimenti in merito alla geometria dell'edificio.
- Suggerimenti in merito alla scelta dei materiali.
- Preventivo dei costi della struttura portante.

- Soluzione per la struttura portante.
- Calcoli statici approssimativi.
- Indicazione delle principali dimensioni della struttura portante e delle sue parti.
- Proposte relative ai dettagli.
- Descrizione della struttura portante e preventivo dei costi.
- Partecipazione alle trattative.

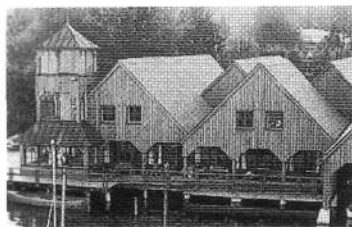
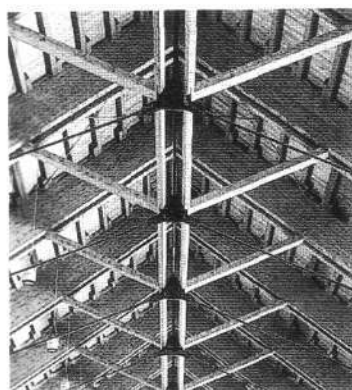
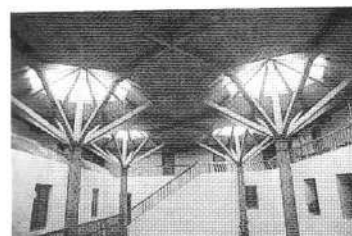
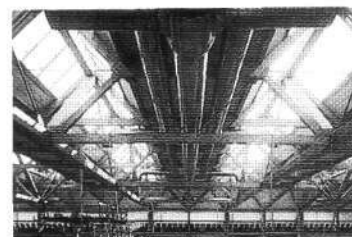
- Offerta anticipata della struttura portante.

- Calcoli e verifiche.
- Piani delle posizioni.
- Negoziazioni con gli enti preposti al collaudo e con i collaudatori.

- Progettazione esecutiva della struttura portante e dei dettagli.
- Piani delle casseforme e degli impianti.
- Elenchi dei pezzi

- Definizione delle masse delle strutture portanti incluse le parti di giunzione.
- Descrizione delle prestazioni per la struttura portante.

In definitiva, si tratta di costruzione e struttura portante, della collaborazione tra ingegnere e architetto. Quest'ultimo si occupa della costruzione nel suo complesso, l'ingegnere rivolge l'attenzione soprattutto alla struttura portante. Entrambi hanno un unico scopo, per conseguire il quale devono intendersi sui fondamenti e suile condizioni al margine o. meglio, devono confrontarsi per trovare i criteri in base ai quali prendere le decisioni. Ogni questione dovrebbe essere discussa durante le fasi di lavoro comuni.

Funzione, geometria della costruzione, struttura, conformazione dello spazio, soluzioni di continuità, collegamenti e vie d'accesso così come l'aspetto generale degli elementi della costruzione, la realizzazione della struttura portante e gli impiantì sono soltanto alcuni dei numerosi argomenti. Lasciare a vista le parti della struttura portante, della finitura e degli impianti, renderle chiaramente e comprensibilmente condivisibili: questo è "lo stile libero" in edilizia. Il risultato è un edificio le cui qualità si conformano all'utilità, alla solidità e alla bellezza.

Soluzione di un grande volume costruttivo mediante suddivisione in diversi piccoli corpi di fabbrica.

Interno di struttura

Integrazione tra la geometria della struttura portante e l'illuminazione naturale

Integrazione tra struttura portante, illuminazione naturale e impianti

Carico di neve estremo con aggetto

Determinazione dei fattori-base

Per l'architetto e l'ingegnere la determinazione dei fattori-base comprende la definizione dell'attribuzione dei compiti per il progetto di una costruzione in legno. A tale scopo sono necessari, tra l'altro, i rilievi dello stato dì fatto nonché la realizzazione di piani di lottizzazione, di analisi dell'ubicazione, dì schemi funzionali e programmi d'uso. Sarà necessario valutare anche l'impatto sull'ambiente e sugli edifici vicini. I criteri determinanti dovrebbero essere sanciti per iscritto e chiariti con il committente e con gli organi di vigilanza sui lavori di costruzione. La checklist raffigurata potrà essere notevolmente ampliata a seconda dei casi. Per l'ingegnere, le condizioni dell'ubicazione, l'uso e ì carichi risultanti sono fattori che influiscono sul progetto in maniera decisiva.

Adempimenti burocratici

Il progettista non può agire liberamente. Sono molteplici, infatti, i vincoli sanciti dalle autorità preposte al rilascio delle concessioni edilizie che vanno ad aggiungersi agli obblighi burocratici. Del resto, l'ambito giuridico garantisce, almeno a medio termine, il rispetto dei bisogni dei singoli e della comunità e funge da elemento equilibratore fra gli obiettivi di chi costruisce e il rispetto del luogo e del paesaggio, tenendo soprattutto conto che le problematiche ecologiche hanno incontestabilmente assunto una rilevante importanza.

Ubicazione

L'ubicazione influenza in modo determinante l'immagine di una costruzione. Per l'architetto l'altezza delle facciate, l'inclinazione del tetto e la scelta dei materiali per il rivestimento del tetto e delle pareti sono condizioni al margine che caratterizzano però il progetto. Bisogna quindi rispettare le esigenze di tutelare i monumenti e il paesaggio, rispettare la topografia e preoccuparsi di adeguare l'opera ai piani regolatori vigenti. Lo sfruttamento dei raggi solari, la protezione dagli agenti climatici e l'orientamento del terreno sono criteri di progettazione fondamentali che dipendono dal sito.
L'ingegnere deve considerare le condizioni del sito per quanto concerne gli agenti climatici al fine di determinare il carico di neve, di vento e quello di natura sismica. Inoltre, le condizioni del suolo e di accesso sono indispensabili per stabilire il tipo dì fondazione e per determinare le dimensioni della costruzione.

Uso

La destinazione d'uso dell'edificio determina ampiamente le altezze dei locali, il numero dei piani e i possibili punti di appoggio. Esigenze funzionali particolari dovrebbero essere prese in considerazione fin dall'inizio, quando cioè vengono fissati i criteri base. L'esposizione naturale incide notevolmente sulla definizione della forma. Le misure antincendio devono essere stabilite subito.

Dotazione impiantistica dell'edificio

Le costruzioni richiedono sempre più spazio per le attrezzature tecniche e devono soddisfare criteri complessi. Gli impianti di riscaldamento e ventilazione, gli impianti elettrici e sanitari, le pareti divisorie andrebbero progettati al più presto e discussi con gli ingegneri specializzati già in sede di progettazione preliminare.

Carico

Nella prima fase della progettazione si dovrà stimare, per quanto possibile, i carichi e gli sforzi che graveranno sulla struttura portante redigendo un piano di carico. Inoltre, bisognerà determinare i valori limite per i carichi accidentali, i carichi derivanti da impianti, vie di corsa, merce di magazzino nonché carichi dovuti al vento, alla neve, quelli di natura sismica ecc., in quanto tutti influiscono notevolmente sulla scelta della struttura portante.

Checklist

Adempimenti burocratici
- Norme antincendio
- Norme antinquinamento acustico
- Diritto dei rapporti di vicinato
- Indice di superficie fabbricabile
- Indice di volume fabbricabile
- Confini
- Allineamento
- Materiali da costruzione
- Aspetti ecologici
- .....

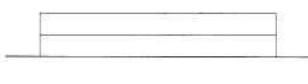
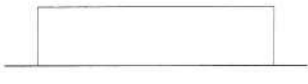
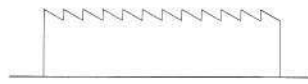
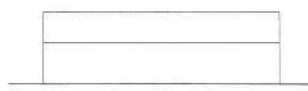
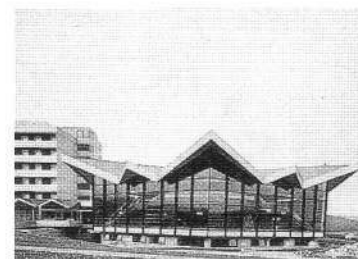
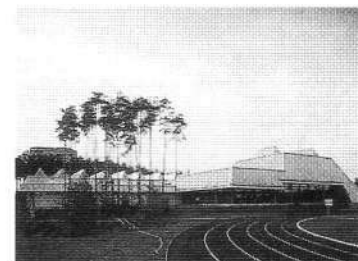
Sagoma limite - Sezione

Progetto preliminare e progettazione di massima

Lo sviluppo della forma di un corpo di fabbrica è largamente determinato dalle condizioni urbanistiche e paesaggistiche al margine. Nell'ambito di un concetto figurativo si sviluppa intorno a un profilo spaziale. Così, ad esempio, il profilo spaziale di una palestra, di un trampolino di una piscina o di un cono di deiezione, insieme al tipo di esposizione e ventilazione, costituiscono i punti di partenza per determinare il profilo spaziale della costruzione e la forma dei sistemi portanti.

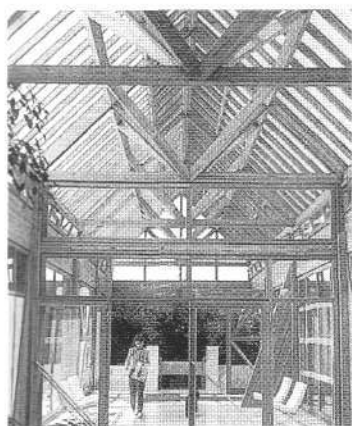
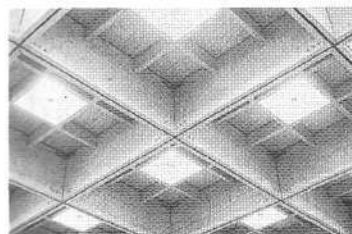
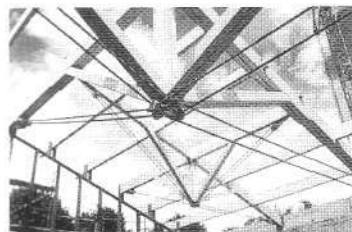
Sviluppo delle forme dei sistemi portanti

Nel progetto preliminare e nella progettazione di massima vengono sviluppate le idee di base per la soluzione costruttiva. L'architetto determina il modello e il carattere che si vuole conferire all'edificio. Nellafase di progettazione di massima, che di regola termina con la progettazione per l'approvazione, l'ingegnere deve innanzitutto proporre un sistema portante realizzabile. Se ha individuato con chiarezza il modello architettonico sul quale si fonda la progettazione preliminare, gli sarà possibile elaborare insieme all'architetto sistemi portanti che non soddisfano soltanto criteri statici ma anche requisiti di carattere funzionale e dettati dall'ubicazione. L'ingegnere deve essere in grado di elaborare sistemi portanti alternativi che servono sia a realizzare l'idea del progetto sia a soddisfare le molteplici esigenze tecniche ed economiche. L'architetto, da parte sua, deve conoscere il comportamento dei sistemi portanti per poter trasferire in una forma costruttiva i sistemi statici che l'ingegnere gli ha comunicato sotto forma di schizzi. Soltanto quando la forma costruttiva dei sistemi statici corrisponde alla forma del corpo di fabbrica si potrà procedere a ulteriori riflessioni sulla scelta dei materiali e dei mezzi di giunzione. Soprattutto, all'inizio l'architetto e l'ingegnere dovranno stabilire con il maggior numero possibile di varianti di sistemi portanti la validità di diversi criteri di progettazione per garantire la qualità dell'intero progetto.

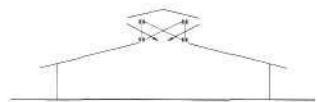
Prospetto

Costruzione con tetto a due spioventi con ventilazione e illuminazione alia linea di colmo per corpi di fabbrica estesi in senso longitudinale

Struttura portante sagomata, disposta in senso radiale al di sopra deilo spazio centrale privo di appoggi

Sezione di edificio con diverse altezze interne

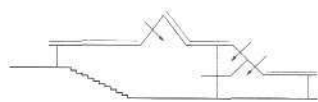
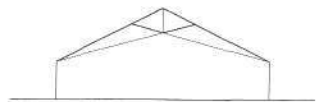
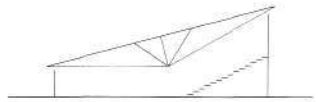
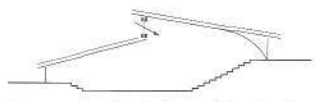
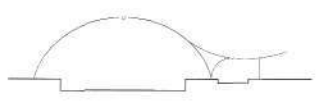
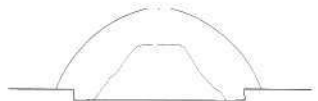
Copertura dì palazzo dello sport con geometria a cupola per grandi luci

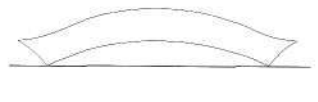
Tetto pensile con appoggio centrale per la copertura di un impianto di cernita dei rifiuti

Struttura portante parzialmente esterna

Area di accesso con tetto a due falde a vetri

Soffitto a struttura regolare con travi reticolari

Struttura portante principale con tiranti inferiori in due direzioni

Sezione

Trave rinforzata da un tirante con lucernario

Trave principale e illuminazione naturale longitudinale

Trave principale longitudinale, trave secondaria trasversale

Trave principale con tribuna, sospesa

Rinforzo inferiore con tiranti, rialzato

Rinforzo inferiore con tiranti, altezza di costruzione massima

Sistema longitudinale con illuminazione naturale

Sistema portante ad arco, combinato

Sistema portante ad arco, adattato al cono di deiezione

Struttura romboidale per la stabilizzazione di un guscio sospeso

Sistema portante sospeso

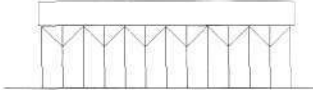
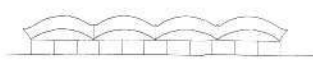
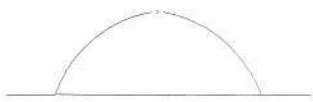
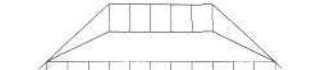
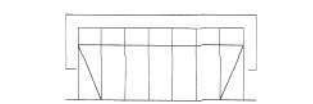
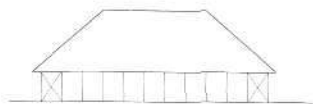
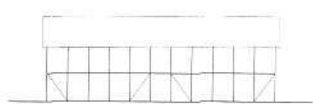
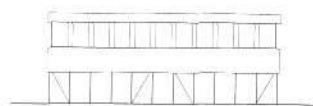
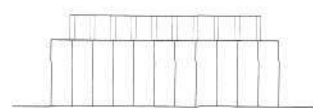
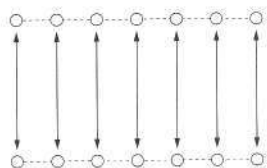
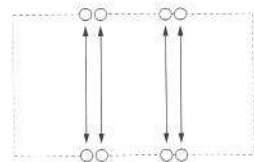
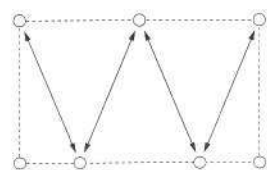
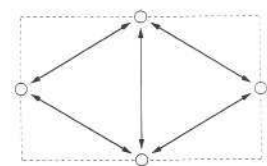
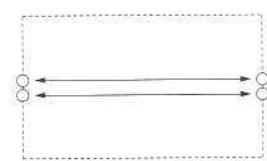
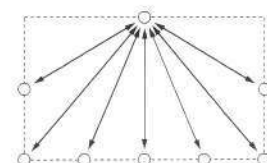
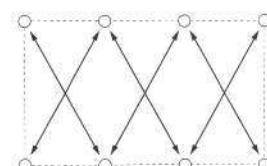
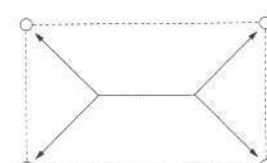
Sviluppo strutturale delle forme dell'edificio

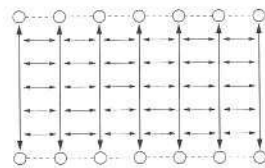
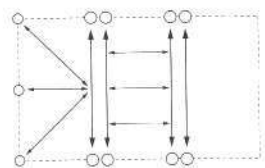
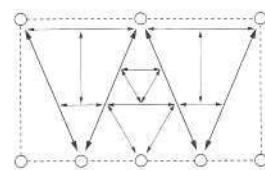
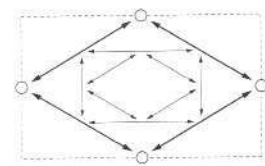
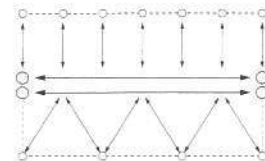
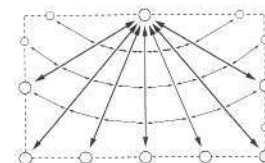
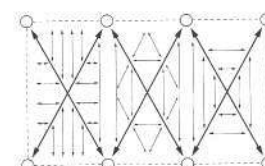
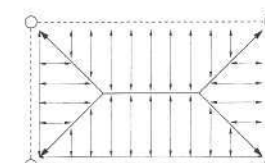
La decisione di articolare l'edificio con una struttura portante lasciata a vista sia all'esterno che all'interno è tipica della costruzione in legno. La possibilità di lasciare a vista il sistema portante grazie a una corretta progettazione costruttiva e non, ad esempio, la necessità di doverlo rivestire per motivi estetici o dì isolamento termico è un importante criterio non soltanto formale ma anche, e soprattutto, economico. Sotto quest'aspetto il legno è superiore agli altri materiali da costruzione.

La possibilità di rinunciare ai controsoffitti è una scelta economica ed estetica per garantire la visibilità del comportamento portante. È pertanto possibile soddisfare l'esigenza di una costruzione portante a vista, bella dal punto di vista architettonico ma anche equilibrata dal punto di vista statico. Tutto ciò è realizzabile disponendo con maestria i sistemi portanti principali e secondari oppure ricorrendo a una struttura spaziale che può essere lineare, piana, ricurva o doppiamente ricurva. La composizione dello spazio interno deve rispettare i requisiti statici delle sezioni degli elementi portanti. Il flusso delle forze deve essere sempre chiaramente individuabile.

Le forme dei sistemi portanti stabilite inizialmente per le sezioni trasversali possono essere sviluppate nelle direzioni portanti longitudinale e diagonale. Per le sezioni minime degli elementi portanti sono determinanti i requisiti antincendio. I sistemi portanti principali delineano il flusso delle forze e i punti di appoggio. La loro conformazione, insieme alle controventature e ai collegamenti di stabilità, conferisce all'edificio la sua forma caratteristica. Il comportamento statico globale e l'assorbimento delle forze del vento possono così essere letti dall'esterno.

L'articolazione dell'edificio può a questo punto avere effetti anche a scale inferiori. A questo stadio della progettazione bisogna già prendere le decisioni relative alla scelta del sistema stabilizzatore. A tale scopo possono essere usati pareti a pannello, pilastri incastrati, telai o archi, per le fondazioni dei quali dovrà essere preso in considerazione il costo.

Prospetto

Sistemi di travi principali in pianta

lineare - addizionato in direzione longitudinale

lineare - a fasci

diagonale

lineare e diagonale - combinato

lineare in direzione longitudinale - addizionato in direzione trasversale

radiale

incrociato in diagonale

diagonale e ramificato

Sistemi di travi secondarie in pianta

lineare tra la trave principale - addizionato

radiale e lineare - combinato

ortogonale e diagonale - combinato

diagonale

lineare o addizionato diagonale

addizionato radiale

lineare - diagonale

lineare

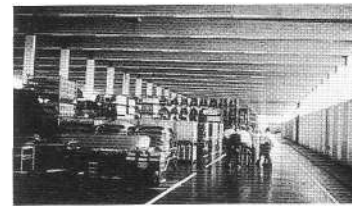
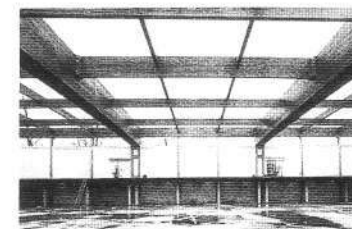
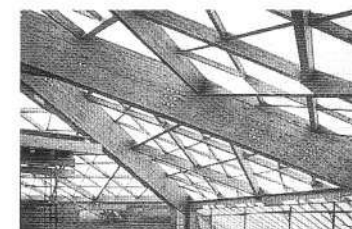
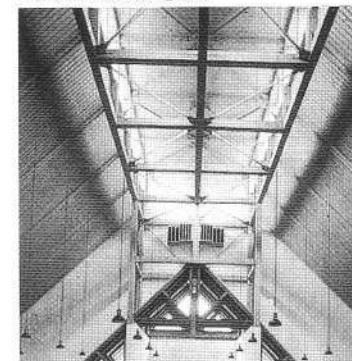
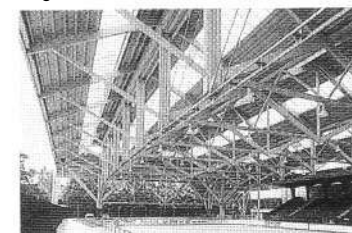
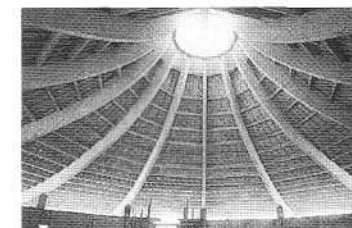
Direzione di assorbimento del carico dei sistemi di travi

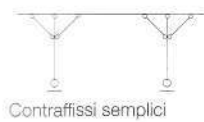
Sistemi di travi principali

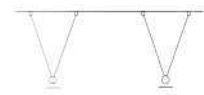
I! numero di sistemi di travi principali, le distanze e le posizioni degli appoggi risultano dallo sviluppo della pianta.

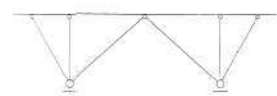
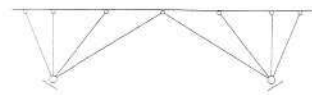
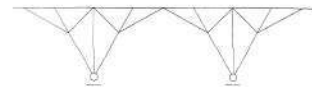
La conformazione del reticolo dipende dalle condizioni di utilizzazione, ad esempio dalle pareti divisorie e dall'illuminazione naturale. Condizioni particolari riguardo alle fondazioni giustificano anche una direzione portante longitudinale. Nel caso di piante a forma circolare o poligonale le travi principali possono avere disposizione radiale o tridimensionale. Le forme del tetto possono essere realizzate in modo particolarmente funzionale ed economico adottando sistemi ramificati.

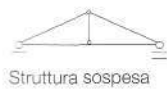
Sistemi di travi secondarie

I sistemi di travi secondarie determinano sia la forma del tetto sia la composizione dello spazio interno. Il loro sistema statico viene definito dalla posizione e dal tipo di appoggio, da! numero, dal collegamento e dalla forma di unità portanti indipendenti. Per le travi secondarie, la luce e lo spazio libero sono meno importanti che per le travi principali. Nel caso in cui ia luce sia scarsa, i sistemi di travi secondarie, scelti con competenza, producono rilievi nel tetto, hanno una funzione stabilizzatrice e contribuiscono notevolmente alla configurazione dello spazio interno. Nella disposizione a travi diagonali si evidenzia una serie di soluzioni favorevoli dal punto di vista statico e interessanti dal punto di vista estetico. Vanno annoverati saettani e puntoni multipli che, con disposizioni tridimensionali, possono dar vita a strutture a forma di ombrello o di fungo.

Travi principali addizionate in senso lineare

Travi principali addizionate in senso lineare con travi secondarie ortogonali

Travi secondarie diagonali

Trave principale centrale in direzione longitudinale

Sistema di travi longitudinale con sistema di travi secondarie risolto in modo tridimensionale

Guscio con nervature principali disposte in senso radiale e nervature secondarle disposte in modo circolare.

Puntoni

Contraffissi semplici

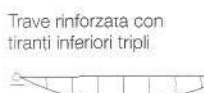
Contraffissi curvi

Puntoni a V

Puntoni multipli

Struttura appoggiata

Struttura a puntoni

Struttura a puntoni con contraffissi

Utilizzo di tiranti di rinforzo superiori e inferiori

Struttura sospesa

Trave rinforzata con tiranti inferiori

Struttura trapezoidale sospesa

Trave rinforzata con tiranti inferiori doppi

Trave rinforzata con tiranti inferiori tripli

Trave a pesce

Modelli elastici per sistemi di travi

La forma delle travi principali e secondarie può essere largamente determinata in base al momento di inerzia assiale attivo J. L'altezza h della trave attiva è elevata alla terza potenza, mentre la larghezza della trave b e la superficie su cui agisce il carico hanno un effetto soltanto lineare:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

J = momento di inerzia
b = larghezza della trave
h = altezza della trave

nell'elasticità h è elevata alla terza potenza

Di conseguenza, l'elasticità dipende in modo particolare dall'altezza della trave.

L'efficienza della forma di un sistema di travi può essere determinata scegliendo opportunamente le forme delle sezioni trasversali, dei sostegni, dei puntoni diagonali, dei tiranti inferiori, delle cerniere e delie sporgenze. Si devono evitare le elevate sollecitazioni alla flessione e al ribaltamento, in modo da ridurre il consumo di materiale. Sono convenienti le aste staccate soggette prevalentemente a sollecitazioni dovute alla forza normale. La disposizione nello spazio è di grande importanza soprattutto per la stabilità e per la sicurezza globale.

Tutti i sistemi di travi possono essere adattati all'andamento del momento mediante modelli elastici, ossia equiparando le altezze di costruzione. Essi possono essere inoltre ottimizzati modificando gli appoggi, la posizione delle cerniere e la iuce.

Lo spazio costruttivo disponibile determina il tipo dì struttura portante. Negli edifici non eccessivamente alti vengono considerati soltanto sistemi di travi a parete piena. Le altezze di costruzione maggiori consentono, tuttavia, di adottare sistemi e strutture sciolti in cui l'assorbimento del carico può avvenire per compressione o per trazione.

L'impiego di sporgenze, puntoni diagonali, tiranti superiori e inferiori consentono dì modellare semplicemente l'elasticità. I sistemi continui, favorevoli dal punto di vista statico con connessione all'asta del tirante a tre cerniere, e i sistemi di intelaiatura possono essere variati in molti modi. Tuttavia, essi producono dei carichi orizzontali che devono essere assorbiti nei punti di appoggio.

Ogni risparmio di materiale aumenta la leggerezza delle costruzioni in legno. Le strutture portanti nel piano e nello spazio, che svolgono contemporaneamente funzioni di rivestimento, statiche e stabilizzanti della forma, soddisfano pienamente l'esigenza di leggerezza e di resistenza. Nel processo di ottimizzazione dei dettagli, la quantità di materiale e di lavoro impiegati per i giunti dovrebbe rimanere in un rapporto bilanciato con le esigenze estetiche e tecniche.

In base alla conformazione statica, a tutti i sistemi di travi può essere data una forma variabile a seconda delle esigenze, facendo riferimento ai modelli di elasticità.

Confronto dei diversi momenti di inerzia con lo stesso dispendio di sezione trasversale e altezze di costruzione diverse
1) È necessaria una sicurezza contro il ribaltamento

Travi continue

Sistema standard

con cerniere

incastrato

accoppiato

rinforzato

con contraffisso

con contraffisso doppio
luce fino a 20 m

come trave reticolare

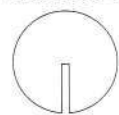
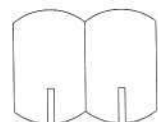
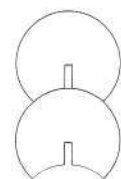
con tiranti di rinforzo superiori e inferiori

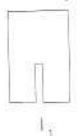
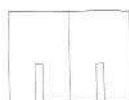
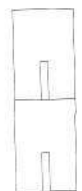
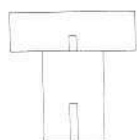
trave reticolare triangolare
luce fino a 50 m

con tiranti superiori inclinati

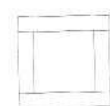
con tiranti superiori paralleli
luce fino a 80 m

come trave sospesa
luce fino a 150 m

Rigidità di sezione trasversale di tronco a sezione circolare

Momento d'inerzia singolo

Momento d'inerzia cumulativo

Momento d'inerzia potenziato mediante chiodi o spine

Rigidità di sezione di tronco a sezione quadrata

momento d'inerzia potenziato con chiodi o spine

Rigidità di sezione delle tavole

Profilo a T

Profilo a cappello

Profilo scatolare

Scelta del materiale e dei modelli di sezione

La scelta del materiale dei sistemi di travi principali, secondarie e sottostanti deve essere effettuata al più presto in modo da poter concordare luci e sistema portante. Per le costruzioni in legno è disponibile una grande scelta di materiali come: legno tondo, legno semitondo, legno tondo fresato, legno squadrato o legno profilato per sezioni composte, tavoloni, tavole e listelli. Dalle opportune combinazioni di materiali diversi si può realizzare una grande varietà di sezioni, che si adattano a tutte le esigenze. Una geometria di sezione ben studiata può svolgere funzioni non soltanto statiche, ma anche di protezione antincendio, acustica e termica.

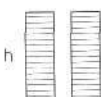
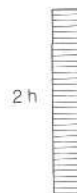
Inoltre, nell'ambito delia tecnica dell'incollaggio, alle travi in legno lamellare può essere data la forma che si preferisce. Molteplici sono le possibilità di utilizzazione consentite dalla combinazione dei diversi materiali.

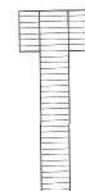
La natura della superficie del legno permette all'architetto di scegliere tra una vasta gamma dì possibilità: legno naturale, grezzo, piallato o lisciato. Anche per quanto riguarda la colorazione e le sfumature dei diversi tipi di legno le opzioni possibili sono illimitate.

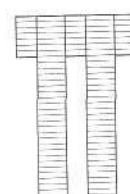
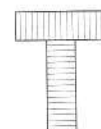
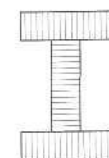
Tra i materiali derivati dal legno si annoverano pannelli multistrato, compensato strutturale, pannelli estrusi piani, pannelli pressati estrusi e diversi pannelli di tipo sandwich, che soddisfano le diverse esigenze relative alla resistenza agli agenti atmosferici e alle proprietà antincendio.

È inoltre possibile scegliere tra diversi tipi e qualità di legno con criteri di classificazione estetica più qualificati, partendo da abete rosso, pino, larice, quercia, faggio, fino ai legnami esotici.

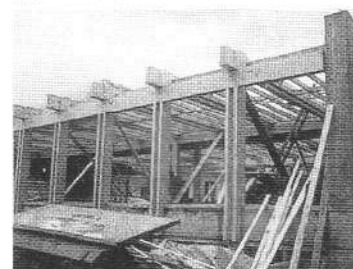
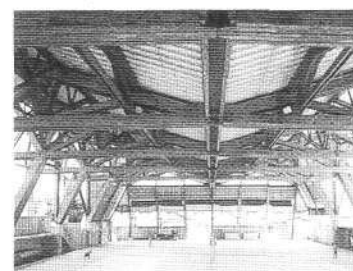
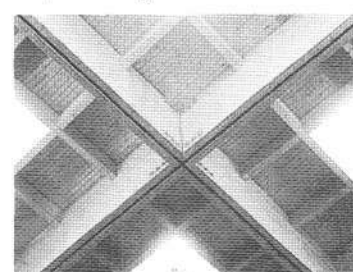
Questi materiali sono descrìtti con dovizia di particolari nella sezione *Fondamenti* (p. 33 e segg.).

Rigidità di sezione del legno lamellare

Trave

Trave doppia

Travi speciali

Trave speciale rinforzata

Trave doppia rinforzata

Trave a T

Trave a I

Costruzione di ponte in tronchi a sezione circolare, incavicchiati

Costruzione di ponte in legno a sezione squadrata, incavicchiato

Travi con profilo a T

Aste di struttura reticolare in sezioni complesse di legno lamellare

Traliccio in sezioni complesse di legno lamellare

Materiale per nodi di connessione e particolari

Il tipo di materiale e la tecnica dì connessione devono essere concordate con l'architetto con un certo anticipo, in quanto l'aspetto di una costruzione in legno è contraddistinto in modo decisivo dai dettagli dei nodi. Le connessioni possono essere di tipo legno-legno, oppure mediante spine, chiodi o viti, lamiere di acciaio a intaglio oppure parti di acciaio a vista.

La scelta dipende dai materiali utilizzati, siano essi legno tondo, squadrato o lamellare. Per l'uso di elementi dì acciaio sono decisivi i requisiti antincendio, mentre per gli elementi esposti agli agenti atmosferici è determinante la protezione strutturale del legno.

Gli elementi di connessione a intaglio oppure coperti presentano il vantaggio che le parti in acciaio hanno proprietà ignifughe. In questo modo si hanno quindi connessioni a taglio multiplo, il numero di elementi delle auali viene ridotto. A questa riduzione si contrappone un aumento dei costi dovuto all'operazione di intaglio e all'indebolimento di sezione del legno.

La scelta definitiva va quindi effettuata tenendo conto del rapporto tra i costi e i criteri di qualità da soddisfare.

Lamiera chiodata con perno incernierato

Trave principale ricurva in legno lamellare

Materiali dei nodi di connessione

con indicazione delle luci possibili

Particolari | **Geometria della superficie portante**

Legno-legno ▷
Sistemi con elementi di compressione
- legno squadrato fino a 12 m
- legno lamellare fino a 20 m

Battuta a contatto con incastro

$\alpha = 0-90°$
Nodo articolato

Legno-tassello ▷
ad es. sistemi reticolari
- legno squadrato fino a 20 m
- legno lamellare fino a 40 m

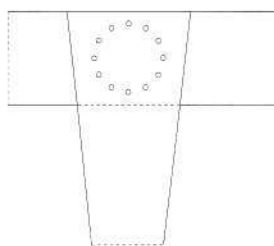
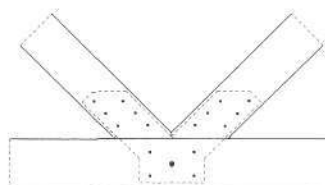
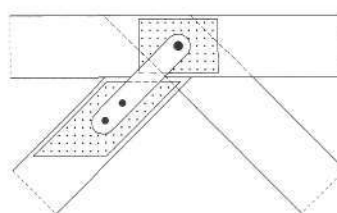
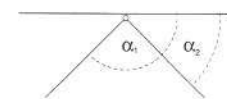
Cerchio di spine

$\alpha = 0-180°$
Nodo parzialmente resistente alla flessione

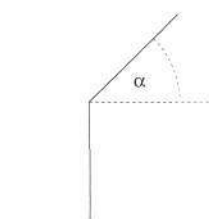
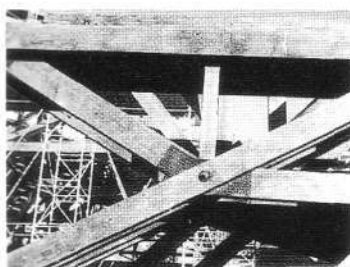
Legno-spina ▷
ad es. sistemi reticolari
- legno squadrato fino a 40 m
- legno lamellare fino a 60 m

Lamiera intagliata con spine

$\alpha_1 \geq 90° \leq \alpha_2$
Nodo parzialmente articolato

Legno-lamiera di acciaio ▷
ad es. sistemi reticolari a telaio
- legno squadrato fino a 60 m
- legno lamellare fino a 80 m

Connessione con perni di cerniera

$\alpha_1 \geq 90° \leq \alpha_2$
Nodo perfettamente articolato

Legno-colla ▷
ad es. telai ricurvi
con nodi del telaio connessi mediante incastri a coda di rondine
- legno lamellare fino a 140 m

Incastro a coda di rondine

$0 < \alpha > 90°$
Nodo perfettamente resistente alla flessione

Ideazione di una costruzione in legno
Creazione di varianti di costruzione

posti all'ingegnere

Compiti relativi alla struttura portante

Requisiti
Condizioni marginali

Paesaggio
Terreno

Funzioni
Profilo dello spazio

Architettura
interna - esterna

Illuminazione
Installazioni

Condizioni del suolo
Carichi

Protezione da freddo, umidità, incendio

Progettazione

Concretizzazione

Scelta del materiale

Forma in sezione trasversale e vista

Mezzo di collegamento
Dettaglio

Completamento -
Rivestimento

Realizzazione
Definizione degli elementi

Trasporto
Montaggio

Fondazione

Principio del carico teorico in pianta

Principio del carico teorico in sezione

Sistema primario e secondario (forma e luce)

Sistema terziario (forma e luce)

Stabilizzazione sistema statico, nello spazio

Scelta del sistema portante

Progettazione

Struttura portante come componente della costruzione

Criteri per le condizioni marginali nella progettazione del sistema portante, e loro possibili dipendenze, da valutare singolarmente

Impiego dello schema per verifiche eventuali integrazioni e correlazioni

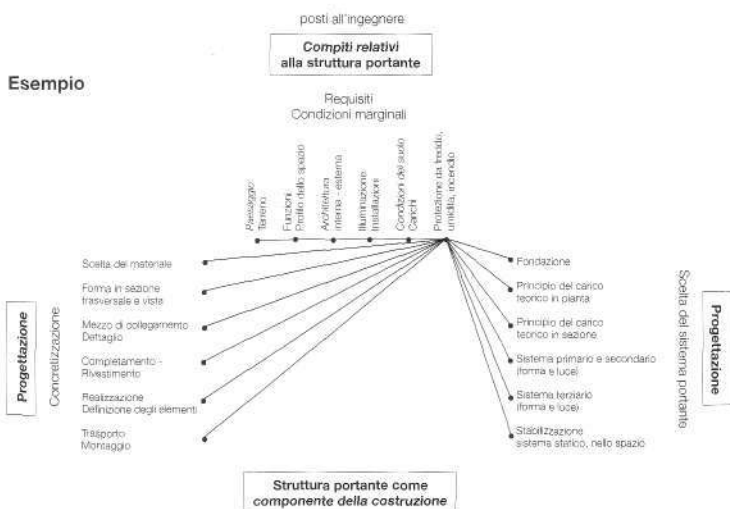
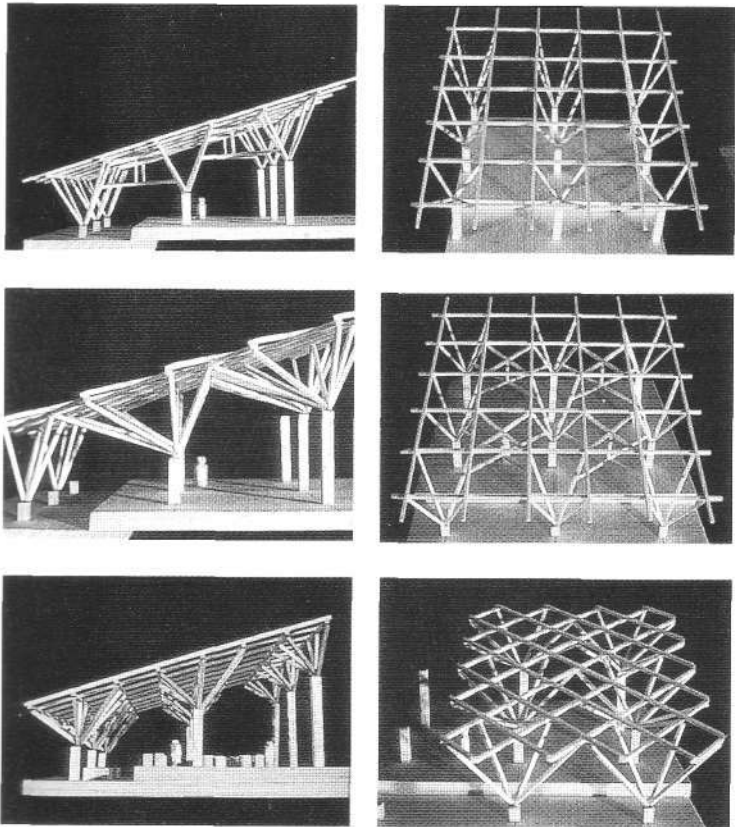
Soprattutto nelle costruzioni in legno è indispensabile una stretta collaborazione tra architetto e ingegnere, poiché, potendosi lasciare a vista la struttura portante, la conformazione e la scelta dei materiali dipendono essenzialmente dalla progettazione della struttura portante effettuata dall'ingegnere.

I criteri di progettazione e le condizioni marginali illustrati nei capitoli precedenti in relazione alla determinazione dei criteri fondamentali consentono di sviluppare varianti di forme del corpo di fabbrica, una struttura portante e un modello di sezione trasversale. Nelle successive fasi di progettazione è possibile tenere in considerazione le esigenze con valenza diversa a seconda del tipo e della forma di sistema portante.

I! cosiddetto corpo morfologico fornisce a tale scopo alcune indicazioni di metodo. I singoli criteri quali geometria, materiale e tecniche di collegamento vengono variati sistematicamente e combinati l'uno con l'altro.

I sistemi portanti possono essere condizionati in modo diverso in sezioni trasversali e longitudinali dell'edificio mediante collocazione di appoggi e asportazione del carico in pianta.

Sono necessarie creatività, intuizione, ma soprattutto esperienza per individuare le varianti migliori e tracciarne uno schizzo. Queste varianti vanno predimensionate in modo approssimato, quindi verificate e confrontate facendo riferimento a una checklist di diversi criteri, valutando fino a quale grado vengono soddisfatti i requisiti imposti alla struttura portante.

In una fase successiva devono essere definiti i criteri di ottimizzazione per semplificare la decisione al committente. Gli edifici vengono costruiti con strutture sempre più complesse dal punto di vista tecnico; per questo motivo è opportuno studiare i metodi di costruzione proprio come già avviene nel caso dei macchinari. I metodi più razionali favoriscono un processo decisionale che scaturisce dai colloqui tra architetto, committente e ingegnere, rendendo, tra l'altro, meno onerosi i complessi processi di autorizzazione, in particolare quando intervengano enti pubblici come comuni e commissioni edilizie.

Drocesso di ottimizzazione di un progetto di struttura portante
con varianti basate su modelli

Criteri di valutazione	ottimo	buono	medio	non buono	Media ponderata	
	3	2	1	0		Σ
Articolazione in singoli locali		×			2	4
Riempimento dell'altezza e dello spazio della costruzione		×			1	1
Chiarezza e trasparenza	×				3	9
Adattamento di pianta-sezione		×			2	4
Sporgenza - protezione strutturale del legno		×			1	2
Costo del materiale	×				3	9
Costo degli elementi di collegamento	×				3	9
Fattibilità		×			2	4
Economicità	×				3	9
Costruzione - costo	×				3	9
Profilo della luce e distanza tra gli appoggi	×				2	6
Valore rappresentativo e d'uso	×				3	9
Libertà di concorrenza (per l'esecuzione)		×			2	4
Valutazione complessiva di una proposta di costruzione da parte dell'ingegnere						96

Drocessi decisionali e di ottimizzazione
Esempio di matrice di valutazione di una proposta di costruzione

Valutazione e confronto

Per giudicare il rapporto economicità/qualità di una costruzione in legno, tutti ì passaggi di progettazione elaborati dall'architetto e dall'ingegnere devono produrre una rappresentazione comprensibile, convincente e integrabile. Il procedimento che ha come obiettivo un progetto di qualità di una costruzione in legno richiede una documentazione completa del ciclo di progettazione.

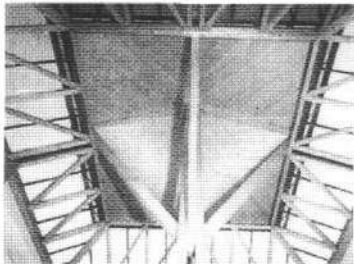
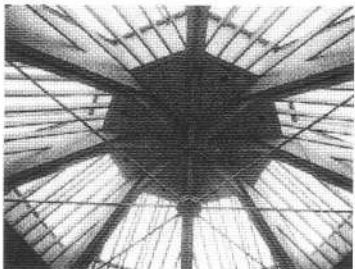
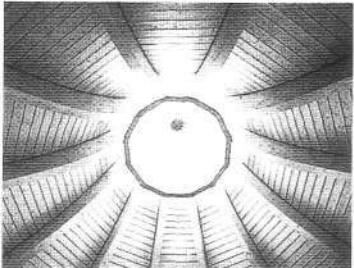
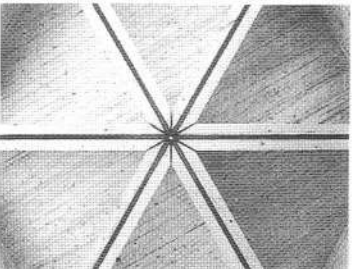
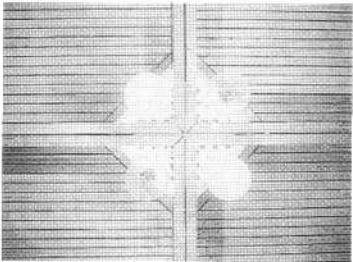
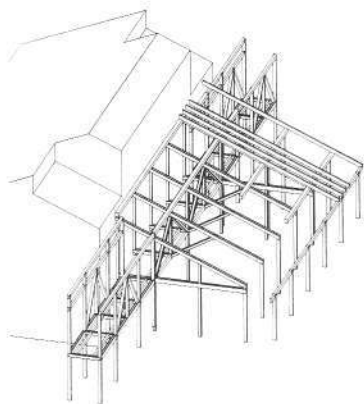
Si dovranno quindi confrontare e valutare i criteri di progettazione adottati, le condizioni marginali speciali e le richieste della commissione edilizia. Occorrerà perciò sviluppare una scelta di soluzioni variando, combinando e integrando i criteri, mentre nell'analisi comparativa critica verranno presentate le conseguenze e le valenze dei singoli criteri e verrà descritta ìa loro influenza sui costi.

La decisione viene presa sulla base di confronti e valutazioni evitando una sopravvalutazione emotiva dei singoli aspetti.

Queste fasi di pianificazione devono essere eseguite scrupolosamente già durante il progetto preliminare e di massima, in modo che il processo decisionale sia chiaro e lineare.

È infatti controproducente apportare modifiche sostanziali nella progettazione della struttura portante nelle fasi di pianificazione successive, perché comportano inevitabilmente grandi ritardi, costi supplementari di progettazione e maggiorazione degli onorari.

Il metodo più efficace per razionalizzare le spese di progettazione è quello di evitare le modifiche o addirittura le progettazioni parallele nell'ambito della pianificazione per l'autorizzazione e l'esecuzione, soprattutto dopo l'assegnazione dell'incarico.

Esempi di diverse progettazioni di nodi della struttura portante e di sistemi portanti

Assonometria

Costruzione di ossatura a Genolier

Stadio di Sion, Svizzera

Palazzo del ghiaccio di Sciaffusa, Svizzera

Prospettiva

Deposito per il sale a Losanna, Svizzera

Rappresentazione

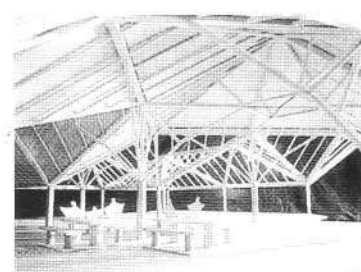
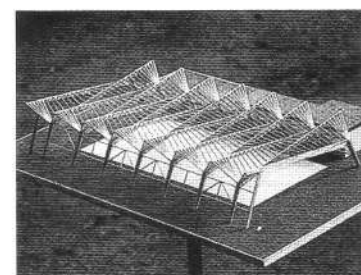
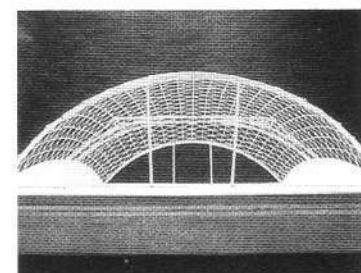
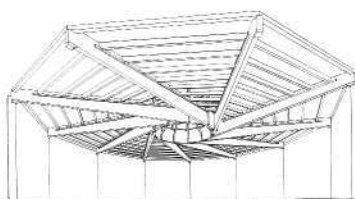
In isometrìa e assonometrìa
Un criterio qualitativo essenziale di una costruzione in legno è l'effetto spaziale Interno. È consigliabile disegnare un'isometria dell'edificio già in fase di progetto di massima, poiché in questa rappresentazione anche i lettori meno esperti di un progetto riescono a individuare le caratteristiche di una costruzione in legno. Inoltre, un'isometria è vantaggiosa per quanto riguarda la presentazione di disegni per richieste di offerte e per l'ottimizzazione della tecnica di fabbricazione nelle ditte esecutrici. Si riesce così a rendersi tempestivamente conto della qualità perseguita nella rappresentazione dettagliata.

Con l'ausilio del computer
Oggi, nella costruzione in legno che impiega materiali di facile lavorazione, è notevole la libertà di conformazione della geometria della struttura portante; questa libertà viene potenziata in modo particolare dall'impiego del Computer Aided Design (CAD, progettazione assistita da computer), che viene adottato per contenere i costì derivanti dall'elevato numero di ore di lavoro necessarie per stabilire la geometria e per eseguire la rappresentazione dei dettagli e degli schemi costruttivi. Con la rappresentazione di costruzioni in legno con l'ausilio di programmi CAD possono venire comunicati alle ditte esecutrici tutti i particolari tridimensionali più complessi.

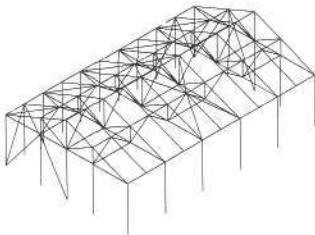
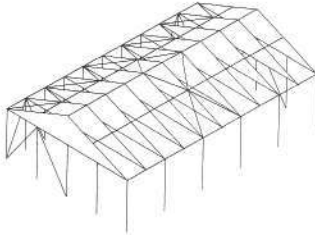
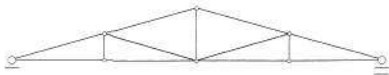
Può quindi risultare vantaggioso lavorare sin dall'inizio con rappresentazioni tridimensionali. Questo tipo di visualizzazione anticipata è una premessa fondamentale per la costruzione in legno, sia per l'architetto sia per l'ingegnere.

Questo implica tuttavia l'uso di programmi 3D, che sono non soltanto programmi di disegno ma anche strumenti ausiliari per l'ingegnere che esegue il progetto. Con tali programmi è possibile realizzare varianti e interconnessioni con altri programmi di statica per ottenere la simulazione di spazi interni con la rappresentazione delle superfici e delle colorazioni. In questo modo è possibile l'elaborazione interattiva di dati grafici nella costruzione in legno con una notevole semplificazione dell'acquisizione e della modellizzazione delle strutture geometriche relativamente all'analisi di resistenza; sono inoltre attuabili una grande quantità di calcoli e lavori dì disegno. In particolare, la modifica dei sistemi statici sui modelli grafici accelererà notevolmente ì processi di ottimizzazione. L'obiettivo di sviluppo dell'applicazione CAD è quello di definire tridimensionalmente l'intera struttura portante; quindi, sulla base dei dati così sviluppati, eseguire la progettazione della costruzione e infine trasferire l'intero pacchetto di dati all'azienda esecutrice dei lavori per l'approntamento di esecutivi e per il controllo degli impianti automatici.

Con modello in scala
Il modello in scala è importante per la rappresentazione della struttura interna. Esso consente di presentare in modo comprensibile la qualità del progetto a commissioni edilizie, comuni e soprattutto al committente. Un modello in scala rende visibili i dettagli e i problemi di base specifici inerenti alla costruzione, semplificando così il colloquio tra architetto e ingegnere. Vengono chiarite le varianti dettagliate della struttura portante e degli elementi costruttivi per copertura, solai e pareti. Per le valutazioni di carattere estetico sono sufficienti modelli in scala da 1:20 a 1:50.

Modello

Mensa a Bayreuth, Germania

Palazzo del ghiaccio a Burgkirchen, Germania

Progetto per un palazzo del ghiaccio

Fotomontaggio

Progetto per un ponte

Processo di progettazione	**Progettazione assistita da programma CAD**	
Studio delle condizioni marginali Dimensioni della pianta Aperture Luce Pendenza del tetto Carichi teorici	5,00 5,00 5,00 5,00 5,00 25,00 12,50	g+p=q 3,50 12,50
Studi delle varianti nella rappresentazione isometrica per: montanti sistema di travi principali sistema di travi secondarie sistema di irrigidimento involucro costruttivo (tetto, pareti)	Variante 1	Variante 2
Dimensionamento preliminare e concretizzazione del concetto tridimensionale in legno squadrato legno lamellare	Sistema statico - variante 1	Sistema statico - variante 2
Decisione	sulla base dei diversi confronti	Forma Costi dei materiali Convenienza economica
Elaborazione del progetto Calcolo statico Disegni della costruzione Concezione dei particolari Descrizione dei pezzi Progetto esecutivo Disegni delle posizioni dei pezzi Definizione dei dettagli Indicazioni del sistema di montaggio Schemi costruttivi Elenchi dei pezzi	Concretizzazione della variante selezionata ← Disegni delle posizioni dei pezzi → Definizione dei dettagli ↓ Indicazioni per il montaggio 360 12/14 10/14 10/14 12/14 2x8/14 12/16 12/12 300 100 → Carpenteria controllo diretto del sistema di montaggio ↓ Elenco pezzi Segheria	
Controlli esecutivi	Controlli degli esecutivi, controllo del montaggio, controlli sul cantiere	
Calcolo	Elenco pezzi creato sulla base del programma CAD, quote	

Elaborazione dei documenti per la richiesta di offerte

Le complesse strutture portanti della costruzione in legno richiedono una descrizione precisa della prestazione da realizzare. D'altronde, al momento della richiesta di offerte per le fondazioni, ad esempio, la progettazione della costruzione in legno del tetto non è ancora giunta a uno stadio così avanzato da potere essere rappresentata in tutti i suoi particolari.
In linea di principio, in quasi tutti i casi la costruzione viene descritta quanto più dettagliatamente possibile. I singoli particolari costruttivi e le tecniche dei mezzi di collegamento vengono rappresentati in modo tale che chi fa l'offerta possa calcolare esattamente il grado di difficoltà e il costo della costruzione. Nel caso delle costruzioni in legno moderne, che, in prevalenza, richiedono geometrìe a misura della struttura portante e tecniche *ad hoc* delle parti di connessione, occorre verificare con cura la possibilità di usare un capitolato per le prestazioni standard. Comunque è necessario fare riferimento a ulteriori normative tecniche ed elaborare capitolati speciali. La richiesta di offerte per una costruzione in legno moderna consta, pur non pretendendo di essere esaurienti, ad esempio, delle seguenti parti.

Parte amministrativa
In essa sono comprese indicazioni su:
- committenza;
- progettista (architetto/ingegnere);
- direzione lavori (direzione lavori/direzione cantiere);
- addetto alle informazioni prima della gara di appalto;
- data di consegna;
- giorno stabilito per il piano di spesa;
- carattere vincolante dell'offerta;
- condizioni generali;
- inizio previsto dei lavori;
- ultimazione;
- allegati che chi fa l'offerta deve presentare.

Condizioni generali
Restano immutate per tutte le costruzioni e regolano, ad esempio:
- coinvolgimento di subappaltatori;
- costituzione di associazioni temporanee di imprese;
- clausola della scala mobile dei prezzi;
- termine di contabilizzazione e di pagamento;
  lavori pubblici in appalto;
  norme determinanti.

Disposizioni riferite all'oggetto
Contengono indicazioni particolari riguardo all'oggetto e differiscono da progetto a progetto.
- Descrizione generale delle costruzioni.
- Dimensioni principali.
- Condizioni per l'introduzione di varianti proposte dall'imprenditore.
- Pianificazione dei lavori.
- Controlli di qualità.
- Accesso al cantiere.
- Indicazioni per il trasporto e il montaggio.
- Condizioni marginali per il montaggio.

Capitolato d'appalto
Si compone di singoli articoli che vengono integrati con corrispondenti quantitativi. È suddiviso nei seguenti capitoli:
- allestimento cantiere;
  sono elencati i costi per transennale, impalcature, apparecchi di sollevamento, impianti elettrici ecc.;
- consegna e realizzazione di tutte le parti in legno, suddivise in pali circolari e semircolari, legname squadrato, legno compensato in tavole, listoni, pannelli di legno compensato, legno compensato in fogli per impiallacciatura;
- fornitura delle parti in acciaio e dei mezzi di collegamento, suddivisi in profilati non lavorati, profilati lavorati, elementi saldati, elementi di acciaio avvitabili per armature, lamiere stampate normalmente commercializzate, costruzioni speciali, chiodi, bulloni calibrati, viti da costruzione, perni di cerniera, viti di ancoraggio;
- realizzazione e montaggio.

Cuesta parte comprende tutte le prestazioni necessarie per realizzare la costruzione utilizzando il materiale oggetto della gara di appalto, ovvero:
- copertura del tetto;
- installazione di parti di collegamento ed elementi in acciaio;
- trasporto;
- montaggio.

Norme tecniche particolari per la costruzione in legno moderna e ulteriori aspetti
- Requisiti della protezione antincendio.
- Requisiti dell'isolamento acustico.
- Requisiti dell'isolamento termico.
- Requisiti relativi a condizioni marginali tecniche in materia di acustica, ventilazione e climatizzazione.
- Requisiti della protezione chimica del legno e impiego di sostanze protettive de! legno in vani d'abitazione, depositi, stalle o all'esterno.
- Protezione dall'umidità per il periodo del trasporto e del montaggio (imballaggio in fogli di plastica o impregnazione).
- Requisiti della protezione anticorrosiva.
- Requisiti relativi all'umidità di installazione per casseforme, legname squadrato, legno lamellare ecc.
- Requisiti del legno lamellare.
- Autorizzazione relativa ai collanti, posizione degli incastri a coda dì rondine.
- Qualità della superficie, nonché spigoli degli elementi strutturali a vista.
- Indicazione della sovrapposizione necessaria in base a criteri statici odi altro tipo.
- In caso di punti poco chiari saranno necessarie indicazioni dirette di chi fa l'offerta oppure un colloquio con il progettista.
- Qualora risultassero sezioni trasversali nuove dovute a incomprensione o incompletezza, le eventuali richieste successive dovranno essere comunicate per iscritto subito dopo la ricezione dei disegni di costruzione e prima dell'inizio dei lavori. Nel caso del legname squadrato e di legno lamellare sono considerate modifiche di lieve entità quelle fino a 2 cm in larghezza e fino al 10% in altezza,
- Sono consentite proposte speciali, soltanto previo colloquio con i progettisti. Esse devono comprendere tutte le prove statiche e devono essere consegnate in una forma che renda possibile effettuare controlli. Si dovrà evidenziare in modo particolare l'equivalenza estetica della proposta speciale. Inoltre, occorrerà indicare gli effetti che le altre soluzioni avranno sui costi. Qualora per i progettisti ne derivasse un lavoro supplementare, questo sarà a carico di chi presenta la proposta speciale.
- Precisione delle dimensioni: tutte le dimensioni delle sottostrutture determinanti per le costruzioni in legno dovranno essere verificate nell'ambito della progettazione esecutiva prima della costruzione e, in ogni caso, al più tardi prima del montaggio,
- Elementi in acciaio: occorrerà eventualmente effettuare la prova di saldatura in base alla norma DIN 18.800.

Norme di calcolo
Ai fini della determinazione della prestazione del legno bisognerà stabilire il volume (m^3) in base alle seguenti grandezze:
- la lunghezza massima, compresi i tenoni e gli altri mezzi di connessione;
- la sezione trasversale totale senza detrarre intagli, vuoti, indebolimenti della sezione trasversale ecc.

Per il calcolo degli elementi strutturali in acciaio, il peso è determinato in base al capitolo 5 della ATV DIN 18.360, *Lavori di costruzione in metallo, lavori di ferramenta.* Si contabilizza in base ai chilogrammi totali.
- Per il calcolo delle misure di lunghezza viene considerata la lunghezza massima anche nel caso di profili tagliati obliquamente e intagliati.
- Nel caso di profili curvi si tiene conto della lunghezza esterna sviluppata.
- Per la determinazione delle misure di superficie viene considerato il rettangolo minimo circoscrìtto, anche nel caso di elementi di forma trapezoidale o irregolare.
- Il grado di difficoltà degli elementi saldati dovrà essere definito anche al di fuori del capitolato delle prestazioni standard. Il peso degli elementi in acciaio e i gradi di difficoltà sono riportati nella tabella a pagina 81. Si distinguono elementi in acciaio piani e non saldati ed elementi saldati.
- Le parti di collegamento vengono calcolate pezzo per pezzo, in base alle singole posizioni.

Esempi di testo per la richiesta di offerte relative ad elementi in acciaio
[da *Infomationsdienst Holz, Anschlüsse im Ingenieurholzbau,* Monaco, maggio 1990)

Pos. 1.1 Piastre chiodate
"cri principalmente per chiodi di diametro 4 o 6 mm
Sc-essore lamiera 3-6 mm

- Piastre rettangolari, quadrate, triangolari in lamiera con larghezze s 180 mm SGE 1.1 complessivamente circa ... pezzi ... kg
- Piastre trapezoidali in lamiera con larghezze < 180 mrr (SGE 2.1) complessivamente circa... pezzi ... kg
- Piastre poligonali (SGE 3)

complessivamente circa ... pezzi ... kg

- Piastre con 1 -2 punte o arrotondamenti (SGE 4) complessivamente circa ... pezzi ... kg
- Piastre con più di tre punte o arrotondamenti (SGE 5) comrjlessivamente circa ... pezzi ...kg

POS. 1.2 Piastre per caviglie
-Z' orincipalmente con diametro da 8 a 24 mm
1.2.1 Spessore lamiera da .... a .... mm
Graduazioni adeguate: fino a 10 mm, da 12 a 20 mm

- Piastre rettangolari, quadrate, triangolari in lamiera con larghezze £ 180 mm (SGE 1.1) complessivamente circa ... cezzi ... kg
- event. come Pos. 1.1 Piastre chiodate, all'occorrenza

Pos. 2. Elementi saldati in acciaio ed elementi da saldare
Fornitura di lamiere piane con diverse forme, spessori e dimensioni, e salda:ure di elementi nodali piani o tridimensionali, incl. tutti i fori e incl. eventuali saldature con elementi lunghi in profilato di acciaio.
Computo metrico: somma dei pesi contabilizzati (DIN 18.360) ci lutti i singoli elementi da utilizzare. Per la saldatura di parti in acciaio piane o saldate su barre in profilato di acciaio viene tenuto conto esclusivamente del peso de ie pari saldate.

Pos. 2.1 Parti saldate composte da 2 elementi (SGV1)

a) Spessore lamiera da ... a ... mm
Peso del pezzo da ... a ... kg circa .. pezzi
complessivamente circa ... pezzi
Pos. 2.2 Parte saldata composta da 3 elementi (SGV 2)

...

Pos. 2.3 Parte saldata composta da 4-6 elementi (SGV 3)

...

Pos. 3
Prestazioni aggiuntive alle pos. 1 e 2.

Pos. 3.1 Aperture
Esecuzione di fori > ... mm, di asole e di fessure ... pez;

Pos. 3.2 Saldatura sul cantiere
Le saldature sul cantiere, diversi tipi di cordone di saldatura e di spessore incl. protezione dalla corrosione successiva conformemente alla norma DIN 1052 parte 2 ... metri lineari

Nota:
La richiesta di offerte per gli elementi in acciaio per kg. incl. foratura e saldatura è semplice e basata sulla prassi. Per le piastre di lamiera rettangolare con fori regolari sull'intera superficie esiste un rapporto diretto tra numero di fori e peso della lamiera, ossia il costo per l'esecuzione dei fori può venire calcolato con precisione con un prezzo al chilogrammo.
In casi speciali, in particolare nel caso di elementi di acciaio molte diversi, si possono avere stime per eccesso o per difetto del costo effettivo, il quale deve venire indicato come valore medio.

La presente tabella è intesa come ausilio per la preparazione dell'offerta e in caso di utilizzo dovrebbe venire adeguata alla geometria delle parti in acciaio del relativo progetto.

Esempio
Descrizioni di posizione dei pezzi secondo il capitolato d'oneri standard: legno squadrato

T1	T2	T3	T4	T5	Unità	Descrizione	N. cl.	Sigla
						Nota: T3 come legno strutturale per lavori di carpenteria		
						Caratteristiche di qualità conformemente alla norma DIN 68.365: per squadrati in legno di conifere Classe normale/Classe speciale		
						Per tavole e tavoloni in legno di conifere non piallati e squadrati: GKI 0/I/II/III/IV		
						Per assi e assicelle non piallate e piallate in legno di conifere: GKI I/II.		
						Per tavole e tavoloni in legno di conifere: GKI I/II/III		
						Per legno di conifere tondo strutturale, come pure per legno segato e tondo di latifoglie: Classe normale – nel caso in cui venga indicata la classe speciale vanno riportare le caratteristiche di qualità		
		00						
		10				DIN 68.365 Classe normale		
		11				------------- Classe speciale		
		12				------------- Caratteristiche di qualità della classe		
						--------, speciale		
		20				------------- GKI 0,		
		21				------------- GKI I,		
		22				------------- GKI II,		
		23				------------- GKI III,		
		24				------------- GKI IV,		
						Nota: nel caso di T4 a destra, i tipi di legno corrispondenti da tenere in considerazione sono 2 e 3.		
			00					
			01			Tagliato al centro		
			02			Privato del centro		
			03			Privato dell'alburno		
				01	-----			
				1		Umidità del legno durante l'installazione.		
				1	-----	15 ± 3% stagionato meccanicamente		
				2	-----	------------- con fresature di stabilizzazione		
				3	-----	18 ± 3% (stagionato meccanicamente)		
				4	-----	------------- con fresature di stabilizzazione		
				5	-----	30 ± 3% (semistagionato T).		

Esempio
Descrizione di posizioni secondo il capitolato d'oneri standard: legno lamellare

T1	T2	T3	T4	T5	Unità	Descrizione	N. cl.	Sigla
						Legno lamellare e travi per costruzioni in legno (a scelta inclusa copertura e installazione o posa)		
						Nota: nel caso in cui l'installazione venga offerta senza installazione o posa a causa di dimensioni di trasporto, altezza di installazione o pesi degli elementi strutturali, per il trasporto fino al cantiere vanno indicate posizioni separate, vedasi Sezione 6.2		
040						Fornitura di legno lamellare, piallato		
	0							
	1					Squadrato, rivestito,		
	1					rettilineo, parallelo,		
	2					------------- con sovrapposizione		
	3					Forma verticale ....,		
	4					con incastro a coda di rondine, forma verticale ...,		
	5					ricurvo, incollato,		
						Raggio minimo superiore a 30 m,		
	6					------------- ....,		
	7					ricurvo sui due lati, incollato,		
	8					raggio longitudinale/trasversale ....,		
		1				Larghezza fino a 6 cm		
		2				------------- da 6 a 8 cm		
		3				------------- da 8 a 10 cm		
		4				------------- da 10 a 14 cm		
		5				------------- da 14 a 18 cm		
		6				------------- da 18 a 22 cm		
		7				------------- da 22 a 24 cm		
		8				------------- ....,		
		1				Altezza fino a 12 cm		
		2				------------- da 12 a 20 cm		
		3				------------- da 20 a 40 cm		
		4				------------- da 40 a 80 cm		
		5				------------- da 80 a 120 cm		
		6				------------- ....,		
		91				Sezione trasversale ....,		
		92				------------- profilata/forma ....,		
		93				------------- circolare tornita,		
						Diametro ....,		
		94				sezione composta,		
						incollata, ...		
		95				--------------------------		

Approvazione e pianificazione del progetto

Compiti dell'ingegnere

Compiti fondamentali dell'ingegnere strutturista sono lo sviluppo e l'elaborazione dei particolari costruttivi di un edificio sulla base di tutti i fattori che prevedibilmente interesseranno ia struttura portante, dal momento in cui iniziano i lavori e per un "tempo indeterminato".

Inoltre, egli deve conoscere l'applicazione delle norme relative ai calcoli statici, descrivere il comportamento della costruzione su periodi di tempo prestabiliti, nonché valutare e garantire l'affidabilità dei materiali impiegati e dei particolari costruttivi, non perdendo però di vista l'aspetto economico.

Tutto ciò richiede capacità creative, intuitive, di sintesi, di precisione tecnica e anche esperienza, che devono integrarsi in una visione d'assieme. L'esecuzione delle prove e la conferma di accettazione dovranno essere supportate da modelli di calcolo e procedimenti di dimensionamento. Lo sviluppo dei particolari costruttivi sarà quindi determinante per la creazione del modello della struttura portante e decisivo ai fini della determinazione della forza di taglio e del dimensionamento. Queste prestazioni sono compito specifico dell'ingegnere.

Prestazioni dell'ingegnere

Determinato il modello concettuale della costruzione in legno e dopo che la sua esecuzione è stata confermata sulla base dei calcoli preliminari e dei risultati della gara di appalto, l'ingegnere dovrà produrre in forma verificabile tutte le prove necessarie per la sicurezza e la funzionalità. Ciò avviene in base a:

- interpretazione e rispetto delle disposizioni edili, delle norme e delle autorizzazioni speciali che sono alla base della progettazione della struttura portante;
- definizione dei parametri del suolo e della pressione consentita su di esso, eventualmente comprende: '30 una perizia geotecnica e al-: ..-e proposte dei tipi di fondazioni ca carte di un ingegnere specializzato:
- determinazione dei carichi teorici e degli effetti che sono considerati il punto di partenza per il calcolo della forza di taglio;
- descrizione dei parametri del materiale e dei criteri qualitativi che sono alla base dei calcoli statici. La loro definizione dovrà essere riportata chiaramente su tutti i documenti di progettazione;
- formulazione di calcoli statici controllabili per tutti gli elementi strutturali, tenendo conto delle indicazioni degli altri progettisti specializzati coinvolti nel progetto;
- descrizione della costruzione e approntamento di disegni di costruzione e posizione che contengono tutte le indicazioni rispetto a condizioni di costruzione, esigenze di qualità, parti di collegamento, provvedimenti per ia protezione del legno e disposizioni per il trasporto e il montaggio;
- raccolta di tutti i documenti, rapporti e perizie completi nonché delle necessarie autorizzazioni rilasciate dagli uffici pubblici;
- trattative con gli uffici pubblici, con gli uffici preposti al collaudo e gli ingegneri collaudatori;
- considerazione delle modifiche. Una delle prestazioni speciali che più frequentemente interessa l'ingegnere strutturista consiste nella modifica successiva della progettazione, sia perché viene richiesto dal committente, sia perché non sono stati rispettati determinati parametri fissati dalle normative, sia per migliorare la qualità della progettazione o per correggere eventuali errori di progettazione;
- controllo dei disegni esecutivi;
- collaborazione per l'aggiudicazione;
- sorveglianza dell'oggetto ovvero controllo dell'esecuzione, per quanto compete a un ingegnere.

Prestazioni fondamentali per un progetto di costruzione in legno

Calcoli statici

Le forze di taglio vengono oggi determinate prevalentemente con programmi di calcolo elettronici oppure con programmi speciali per il calcolo degli elementi finiti. Di regola, per il dimensionamento sono disponibili appositi programmi, la cui applicazione non presenta particolari difficoltà.

Prova della sicurezza portante

Poiché normalmente le costruzioni in legno comprendono la costruzione del tetto, i calcoli statici cominciano in genere con la copertura del tetto. Per coperture del tetto, capriate, arcarecci e travi secondarie sono di regola determinanti le prove di inflessione. Nel caso di grandi carichi di neve, occorre controllare soprattutto la tensione di scorrimento. Le travi o i sistemi portanti principali vengono provati per diverse combinazioni di carico. Le prime prove si effettuano per carico d'uomo, peso proprio, neve e vento, e le forze del vento sono determinanti per i sistemi portanti muniti di tiranti. Nel caso di diverse combinazioni di carico non si deve dimenticare la sovrapposizione con le forze di stabilizzazione.

```
TRAVI DI COLMO ACCOPPIATE    D7    09/88    MS-DOS QB

Progetto: Padiglione coperto Meiser                    Pos: 1

Basi per il calcolo: DIN 1052,     DIN 1055     (Schelling)

MATERIALE: Legno di conifere, classe di qualità II

SISTEMA E DIMENSIONI:
----------------------------------------------------------------
Numero di campate                    n =      3
Pendenza del tetto               Alpha = 15.00 Grad
Distanza tra gli appoggi             L =   4.75 m
Distanza tra le travi di colmo       e =   1.15 m
  sul piano del tetto
Inflessione amm. nella campata       L /   200

CARICHI
----------------------------------------------------------------
Copertura del tetto             g1 =   .55 kN/m2 Df 1
Costruzione                     g2 =   .15 kN/m2 Df 1
Peso proprio della trave        g4 =   .11 kN/m
  di colmo a campata esterna
Peso proprio della trave        g5 =   .07 kN/m
  di colmo a campata interna
Carico di neve regolare         s0 =   .75 kN/m2 Gf 1
Pressione dinamica              q  =   .50 kN/m2
Pressione del vento/-sogg       wd =   .00 kN/m2   ws =  .30 kN/m2

SEZIONE DELLE TRAVI DI COLMO ACCOPPIATE        b/h (cm)
----------------------------------------------------------------
Campata esterna              12/15
Campata interna               8/15

PROVA DI SOLLECITAZIONE   (Campata esterna = 1 / Campata interna = 2)
----------------------------------------------------------------
Pf.     LF  LF     qz     MY     qy     Mz  Sig-max  Sig-zul  vohr/
           Art   kN/m    kNm   kN/m    kNm    MN/m2    MN/m2    zul
    ------------------------------------------------------------
 1     g+s   H   1.69   3.04    .45    .82    9.03    10.00    .90
 2     g+s   H   1.65    .93    .44    .25    4.67    10.00    .47

INFLESSIONI           prec. f          amm. f       (senza scorrimento)
----------------------------------------------------------------
Campata esterna       1.93 cm          2.38 cm
Campata interna        .34 cm          2.38 cm

REAZIONI DEGLI APPOGGI (kN)
----------------------------------------------------------------
         LF       Az      Ay      Bz      By      Cz      Cy   residue
----------------------------------------------------------------
      g+s (H)    3.20     .86    8.72    2.34
  g + sog (H)    1.02     .45    2.71    1.21

LUNGHEZZA  ACCOPPIAMENTI e REAZIONI ACCOPPIAMENTI
----------------------------------------------------------------
Lunghezza accoppiamento B-destra    z2 =    85 cm
Lunghezze altri accoppiamenti       z1 =    48 cm

max. reazione accoppiamento         Kz =  3.33 kN
max. reazione accoppiamento         Ky =   .89 kN
```

Stampata di un programma computerizzato per il dimensionamento

Compilazione di una prova di stabilità contenente calcoli elettronici

Simboli per la rappresentazione di sistema delle strutture portanti

Appoggio fisso

Appoggio mobile

Appoggio incastrato

Appoggio elastico

Nodo resistente alla flessione

Nodo articolato

Esempio di telaio a tre cerniere

Simboli per carico

carico singolo

carico uniformemente distribuito

carico triangolare

Momento

Prove statiche e dimensionamento

Elementi strutturali soggetti prevalentemente a sollecitazioni di pressione (pilastri, puntoni, archi)

- Prova del rapporto di snellezza limite.
- Prova di pressoflessìone semplice (procedimento a w).
- Prova di stabilità portante in base alla teoria della tensione di secondo ordine.

Considerazione dì asimmetrie, deformazioni e indebolimenti indesiderati della sezione trasversale. Direzioni del carico eccentriche e quindi ulteriori sollecitazioni.

Elementi strutturali soggetti prevalentemente a sollecitazioni di flessione (travi, telai)

- Determinazione della forza dì taglio.
  Carichi asimmetrici, dovuti a carichi di neve e vento su un solo lato nonché carichi sollevanti, come, ad esempio, vortici di vento.
- Prova della tensione di flessione
  Indebolimenti della sezione trasversale, come forature o incisioni sul lato teso.

Le tensioni di flessione maggiori devono essere testate sia nelle zone curve che nei margini tagliati obliquamente.

- Prova della tensione di scorrimento
  Diminuzione delle forze di taglio nelle zone vicine agli appoggi.
  Prova nel caso dì intagli e aperture.
- Prova della tensione di torsione
  Nel caso di travi esterne bisognerà provare i carichi eccentrici.
- Prova della tensione di trazione trasversale
  Le tensioni di trazione trasversale insorgono nel caso di travi rotte, piegate e intagiiate nonché nel caso di aperture e di carichi sospesi.
- Prova di inflessione
  Effetti riconducibili a cedimenti degli appoggi e al ritiro nonché alla cedevolezza dei mezzi di collegamento.
- Prova di ribaltamento
  Nel caso di travi alte che vengono sollecitate da carichi quali vortici di vento e angoli di intelaiature.
- Prova degli appoggi e delle connessioni

Bisogna considerare le conseguenze degli spostamenti degli appoggi sull'involucro costruttivo.

Particolare di ancoraggio nel caso di forze di sollevamento.

- Prova delle tensioni di pressione trasversale in cui bisogna eventualmente considerare le deformazioni degli appoggi.

Elementi strutturali soggetti prevalentemente a sollecitazioni dovute alla forza normale (costruzioni reticolari e telai a struttura reticolare)

Vengono determinate le forze di taglio mediante modelli di calcolo per strutture reticolari contenenti aste in acciaio, in cui in genere si suppone che il corrente sia continuo e che le diagonali della travatura reticolare siano aste snodate o parzialmente incastrate. Bisogna tener conto di eccentricità, incastri parziali e carichi trasversali delle aste.

Nel caso di aste destinate alla struttura reticolare, bisogna quindi eseguire le seguenti prove.

- Prove di tensione per sollecitazioni di trazione, di pressione o combinate sulla sezione trasversale netta.

Prove di stabilità nel caso di puntoni con eventuale sollecitazione di flessione.

Non bisogna in questo caso dimenticare la sovrapposizione con le forze delle giunzioni orizzontali.

I punti nodali dovranno essere testati come segue.

- Prova dei mezzi di collegamento.

Prove di tensione nelle zone di collegamento considerando gli indebolimenti della sezione trasversale e le eccentricità.

Prove di tensione di scorrimento nel caso di eccentricità o giunti a contatto obliqui.

L'intera struttura reticolare dovrà essere controllata nei seguenti casi.

- La prova di inflessione dovrà essere eseguita in considerazione della cedevolezza delle parti di connessione e di eventuali incastri parziali dei punti nodali.

In ogni caso si consiglia una revisione costruttiva.

- Nel caso di grandi luci, la prova di stabilità totale viene effettuata includendo le travi secondarie e i giunti di rinforzo.

Bisogna fare attenzione al ritiro dovuto ai carichi trasversali.

Rappresentazione delle grandezze di taglio

Carico

Rappresentazione della deformazione

Forze trasversali

Forze normali

Momenti

Tensioni

Pressione e trazione

Flessione

Pressoflessione

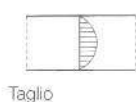
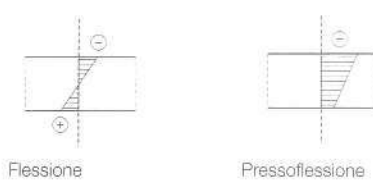
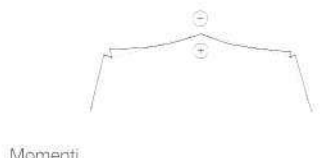
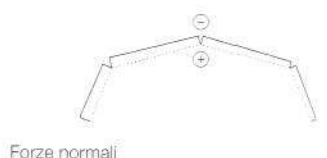
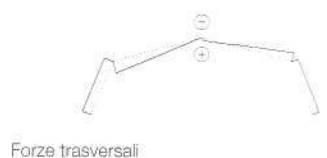
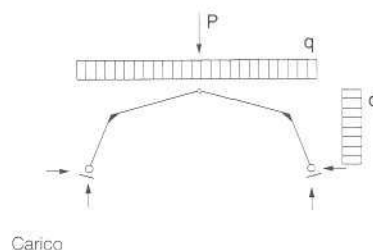
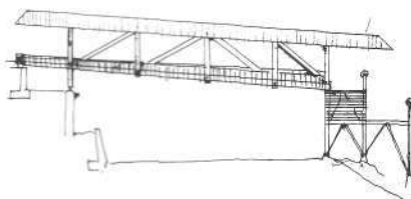
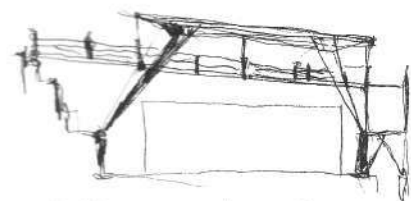
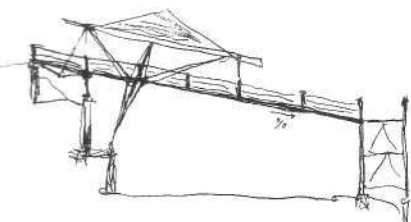
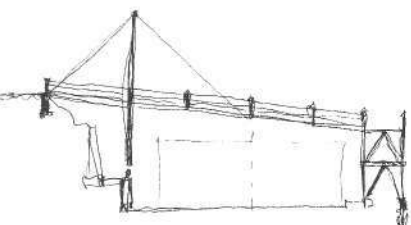
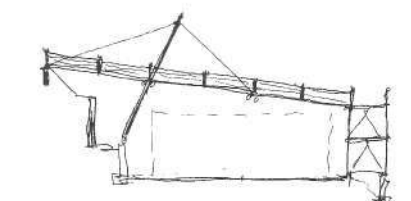
Taglio

Schizzi dell'ingegnere per il ponte Balaigues

Struttura reticolare con tetto

Intelaiatura con copertura parziale

Costruzione a fungo con sospensioni
Copertura parziale

Costruzione parzialmente inclinata con pilone verticale

Costruzione parzialmente inclinata con pilone inclinato

Foto del progetto realizzato

Rappresentazione grafica di un progetto di costruzione in legno

Necessità della rappresentazione grafica

I disegni delle costruzioni in legno sono il mezzo più importante per raggiungere un accordo tra gli artefici della costruzione.

Una rappresentazione chiaramente leggibile sulla base dei disegni tutela sia il committente, l'architetto e l'ingegnere sia le ditte esecutrici da malintesi sul tipo, la qualità e l'aspetto estetico di una costruzione in legno.

A tutti i livelli di progettazione bisognerà evidenziare chiaramente i caratteri qualitativi del progetto in questione.

Le progettazioni accurate richiedono un grande lavoro, ma in genere rendono più rapidi i processi decisionali e risolutivi. È anche possibile ottenere tempi di costruzione più brevi e costi inferiori. Soprattutto per le imprese appaltatrici, i disegni costituiscono il punto di partenza per i calcoli, l'approvvigionamento dei materiali, la costruzione e il montaggio. In cantiere, disegni di progetto validi facilitano il coordinamento di procedure esecutive sempre più numerose.

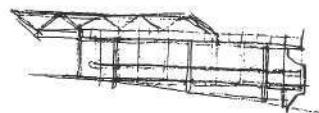
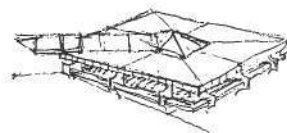
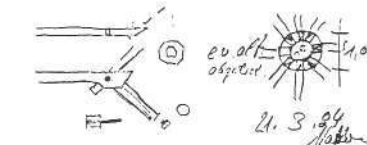
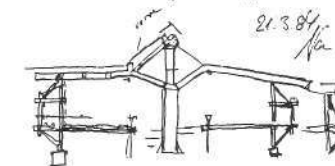
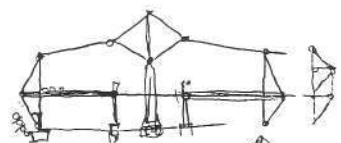
Nella norma DIN 1356 sono riportate le regole per la realizzazione di disegni per l'edilizia, soprattutto della costruzione in iegno. Il tema e l'entità dei disegni che l'architetto e l'ingegnere dovranno approntare vengono descritti in Germania nel *fiegolamento degli onorari di architetti e ingegneri,* nell'ambito delle prestazioni fondamentali e di quelle speciali. Il committente può incaricare l'architetto, l'ingegnere strutturista o l'impresa appaltatrice di realizzare singole prestazioni di progettazione.

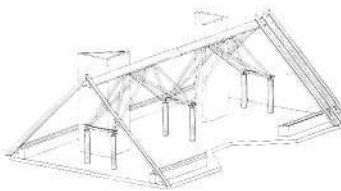
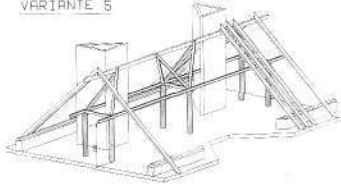
Schizzi progettuali

Già in fase di progettazione preliminare è consigliabile, soprattutto per le costruzioni in legno, coinvolgere nel processo di progettazione l'ingegnere strutturista prima possibile, in modo da disporre anticipatamente di proposte di soluzioni per la struttura portante.

Sì confrontano quindi le diverse varianti sotto forma di schizzi, che possono anche essere disegni a mano libera che vengono realizzati da architetto e ingegnere nel corso di una riunione.

Proposte di costruzione

Le diverse proposte costruttive vengono quindi presentate sotto forma di disegni in scala (1:200, 1:100, 1:50, particolari costruttivi 1:10) e ottimizzate per confronto. In base ai disegni si devono poter prevedere il sistema portante, le possibilità di stabilizzazione, le varianti di materiale e i particolari costruttivi. Per evidenziare le qualità estetiche di una costruzione in legno, si rendono indispensabili le rappresentazioni tridimensionali, realizzate sia con disegni a mano sia con programmi CAD, con assonometrie o prospettive. Non bisogna dimenticare che la qualità della rappresentazione dei singoli disegni conta molto più della quantità delle diverse rappresentazioni.

Schizzi della progettazione preliminare dell'architetto

Schizzi della progettazione preliminare dell'ingegnere

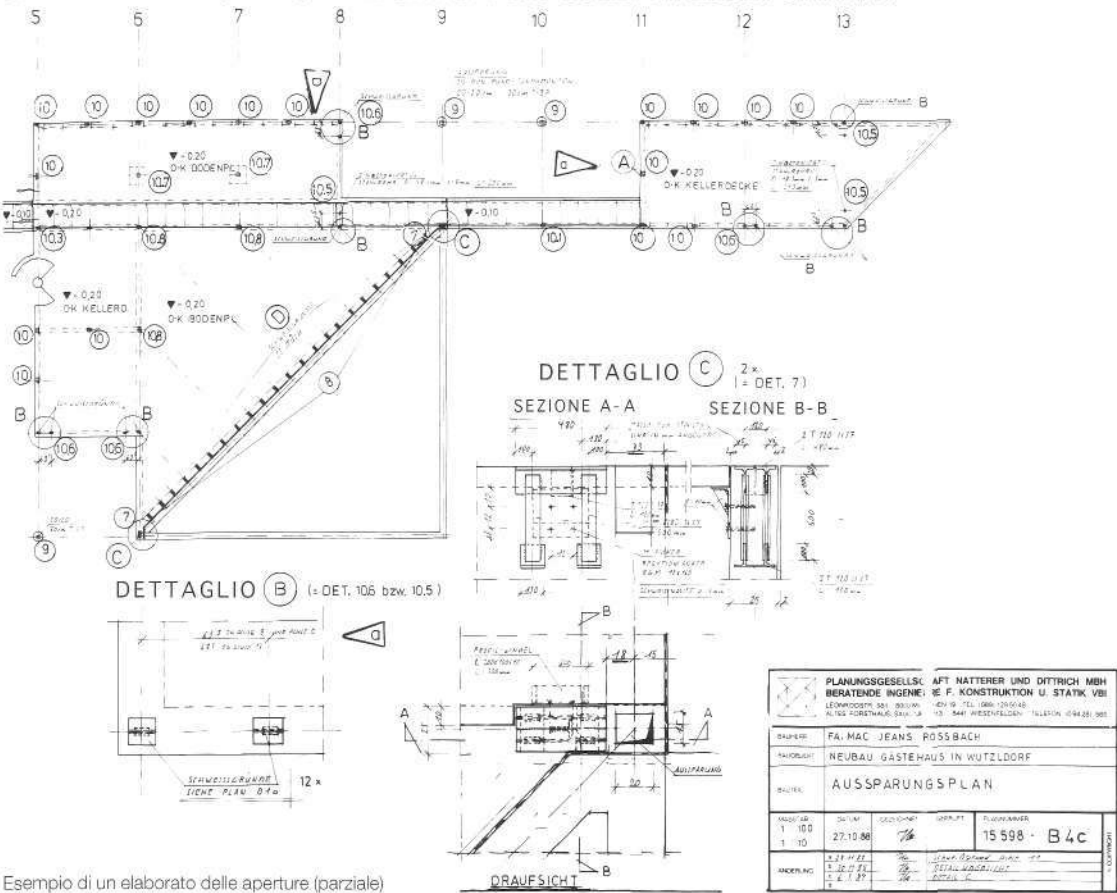
Varianti per il confronto

Rappresentazione tridimensionale di una costruzione in legno con varianti CAD per il confronto

Elaborati contenenti indicazioni dei carichi e delle aperture

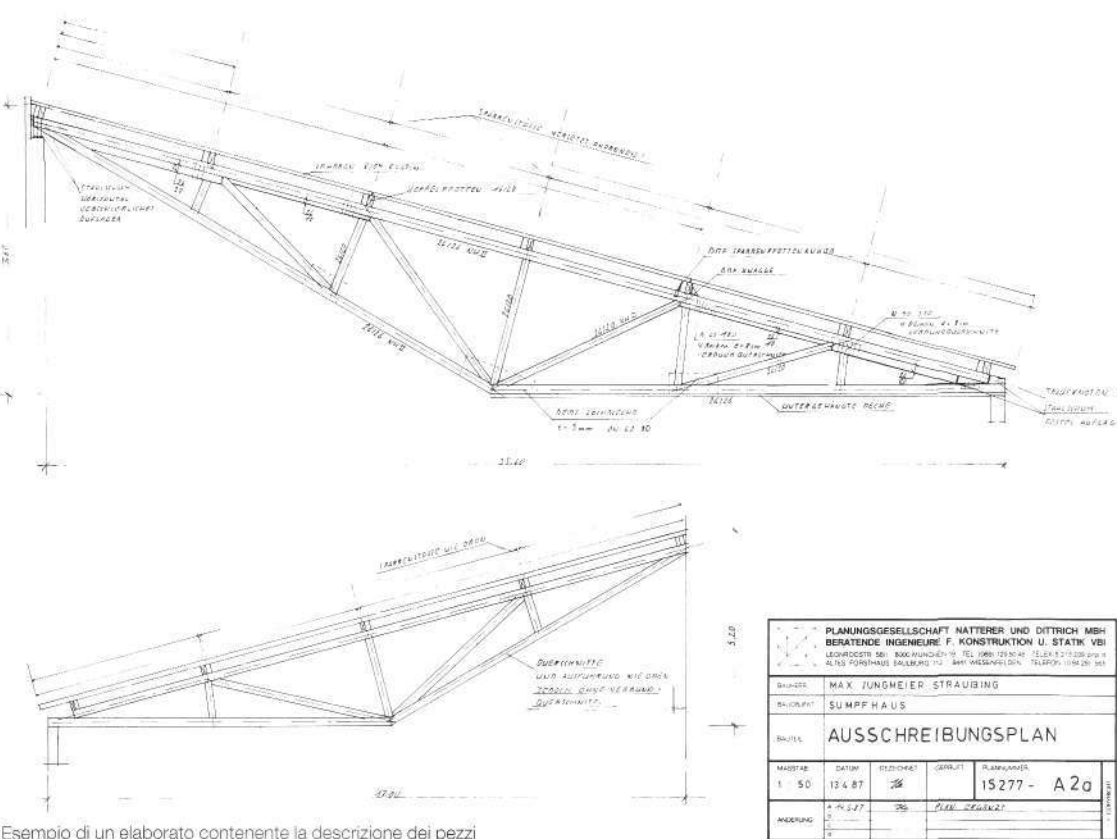
Gli elaborati mostrano i carichi che la costruzione in legno trasmette ai punti di appoggio. In genere, sono necessari quando la costruzione in legno e la struttura piena a essa collegata vengono elaborate da ingegneri diversi. Inoltre, questo tipo di elaborato è di fondamentale importanza per la realizzazione di una perizia delle fondazioni.

Gli elaborati delle aperture evidenziano la posizione e le dimensioni delle cavità, conformate a seconda della geometria del particolare per l'ancoraggio della costruzione di legno a elementi costruttivi in muratura. Per la scelta delle dimensioni delle cavità si deve prestare particolare attenzione alla tolleranza necessaria, che dipende dalle dimensioni dell'elemento strutturale da ancorare.

Carichi e aperture possono essere riuniti in un unico elaborato, per fornire all'ingegnere che si occupa della costruzione in muratura tutti i dati necessari per gli elementi strutturali di sua competenza.

Questo tipo di disegni solitamente viene realizzato in scala 1:200,1:100 o1:50.

Esempio di un elaborato delle aperture (parziale)

Elaborato contenente la descrizione dei pezzi

Se è prevista una richiesta di offerte anticipata, si consiglia di raffigurare la costruzione di legno in un apposito elaborato con l'indicazione di sistema portante, dimensioni e dettagli principali. Con questo tipo di descrizioni chi fa l'offerta deve venire informato sul tipo di costruzione e sul grado di difficoltà relativo a fabbricazione, trasporto e montaggio. Sui disegni si dovrà indicare che le quote in questa fase della progettazione non sono ancora vincolanti. Questo tipo dì elaborato di solito è in scala 1:200, 1:100o 1:50, in casi eccezionali i dettagli principali sono in scala 1:10 o 1:5.

Esempio di un elaborato contenente la descrizione dei pezzi

Elaborato riassuntivo della numerazione e della posizione dei pezzi

Questo tipo di elaborati serve per l'individuazione dì elementi strutturali e dettagli.

Nell'ambito della collaborazione tra architetto e ingegnere, con l'ausilio di questi disegni vengono chiarite le posizioni degli elementi strutturali. Essi vengono inoltre utilizzati nelle fasi di fabbricazione e di montaggio.

Gli elaborati riassuntivi della numerazione e della posizione dei pezzi si basano sul reticolo della costruzione e hanno dimensioni assiali vincolanti.

Poiché si tratta di una documentazione allegata ai calcoli statici verificabili, essa deve contenere i dati relativi alle posizioni statiche, le dimensioni della struttura portante e i carichi di lavoro, come pure il tipo e la qualità dei materiali da costruzione.

Esempio di uno schema delle posizioni e d'insieme (parziale)

Schemi di costruzione

Negli schemi di costruzione sono contenuti tutti gli elementi costruttivi portanti in sezione e prospetto con le quote e le informazioni necessarie per la realizzazione della costruzione di legno.

È importante indicare sui disegni che la concordanza delle quote indicate va verificata con gli elementi strutturali già presenti nella costruzione in quel dato momento.

Vanno inoltre riportate le qualità dei materiali che stanno alla base della statica e le dimensioni degli elementi costruttivi, compresi la misura, il numero e la disposizione dei nodi di connessione, rappresentando secondo lo stesso principio soltanto i dettagli ovvero i nodi principali soggetti al carico massimo. I dettagli soggetti a carichi ridotti vanno invece inseriti nella progettazione esecutiva.

In accordo con gli architetti gli schemi di costruzione possono rappresentare il completamento dei progetti esecutivi dell'architetto e servire insieme come base per i disegni esecutivi.

Questi schemi vengono solitamente realizzati adottanto le scale 1:50, 1:20 e 1:10.

Esempio di uno schema di costruzione (parziale)

Disegni esecutivi e per la realizzazione della costruzione

La guida vincolante per la realizzazione dell'intera costruzione in legno sono i disegni esecutivi. Di regola essi vengono approntati dalla ditta appaltatrice dei lavori, che in questo modo partecipa in modo consistente all'esecuzione progettuale. Se una ditta non intende realizzare i disegni esecutivi, allora questi possono venire eseguiti come prestazione speciale anche dall'ingegnere o dall'architetto.

Esempio di schema dei dettagli

Disegni per il montaggio

Essi mostrano i singoli elementi strutturali lignei con esatta geometria di sezione, aperture, fori e con tutte le indicazioni quotatate necessarie per la lavorazione, comprese eventualmente la sovrapposizione necessaria o altre particolarità. Grazie a questi piani il carpentiere realizza la proiezione verticale, oppure appronta apposite dime nel caso in cui si tratti di un numero di pezzi elevato. Le basi per i disegni del montaggio sono i disegni esecutivi dell'architetto e gli schemi di costruzione dell'ingegnere. Occorrerà tenere conto delle tolleranze necessarie tra i singoli elementi strutturali in legno e gii elementi della infrastruttura rigida sulla quale poggia la costruzione di legno. Dì regola, tali disegni vengono verificati dall'architetto ovvero dall'ingegnere prima dell'inizio dei lavori di montaggio. L'esecutore dei disegni per il montaggio è responsabile della correttezza delle quote indicate. Questi disegni vengono di solito realizzati in scala 1:50,1:10 e 1:15.

Disegni esecutivi per gli elementi in acciaio

La rappresentazione di questo tipo di disegni è regolata dalla norma DIN 5261 .Va indicata l'esatta geometria e quotatura del singolo elemento in acciaio con l'indicazione di tutti i fori, fresature e cordoni di saldatura. Anche chiodi, bulloni, viti calibrate e caviglie previsti sono accompagnati da grandezze e tipo, inclusa l'esatta lunghezza del filetto.

Ansicht 1:100

Gurten BSH 200/700

Diagonalen BSH 240/360 und Kerto 2x 63/400

Pfosten BSH 200/200

Auflager-diagonalen BSH 240/360 und Kerto 2x75/400 durchlaufend

Verdübelung Auflagerdiagonale

Spannriegel BSH 160/367

Unterzug BSH 2x160/367

Zugehörige Detailpläne

Prestazioni speciali nella progettazione della struttura portante

Tra le prestazioni speciali vi è in particolare la verifica dei disegni esecutivi realizzati da terzi o dalle imprese appaltatrici. In questo caso bisogna considerare attentamente che questi disegni concordino con la progettazione della struttura portante, poiché spesso interpretazioni errate, incomprensioni e trascuratezze causano errori esecutivi. In questo contesto, nella costruzione in legno bisogna riporre particolare attenzione ai controlli della qualità del materiale.

Piani per lo svolgimento dei lavori, piani di montaggio e delle impalcature

Soprattutto nel caso di luci ampie, come per saloni e ponti, i procedimenti di montaggio devono essere pianificati con grande cura, il mezzo più idoneo è costituito dai piani di montaggio che indicano i carichi che gravano sull'elemento strutturale, le dimensioni e gli sbracci delle gru. Bisogna fare attenzione alla definizione e alla preparazione di punti di sospensione sull'elemento strutturale in legno nonché al rinforzo delle travi o dei tralicci sottili necessario durante il montaggio. Altrettanto importanti sono gli ancoraggi e i dispositivi di protezione dai vortici di vento per tutta la durata dei lavori, fino al montaggio del rinforzo e delle facciate. Anche queste costruzioni che vanno installate per un tempo determinato dovranno essere definite dai piani con indicazione dei particolari costruttivi e della descrizione del processo.

Programmi di svolgimento e programmi dei tempi

Per garantire il regolare svolgimento dei lavori e il completamento puntuale di una costruzione, si ricorre ai programmi dei tempi. A seconda del progetto, essi vengono approntati dall'architetto, dalle ditte o da un tecnico specializzato. La forma più conosciuta di programmi dei tempi è costituita dai programmi a barre e a rete. I programmi di svolgimento contengono, oltre alla costruzione vera e propria, che viene illustrata in modo schematico, anche le costruzioni secondarie necessarie, quali impalcature portanti e allestimento del cantiere con indicazioni relative ai confini del fondo, alle vie di accesso, allo stazionamento delle gru e al raggio dì azione nonché alla posizione degli allacci di corrente elettrica e acqua.

Piani di consistenza e di documentazione

Vanno considerate prestazioni speciali la redazione di un registro del fabbricato e la realizzazione di piani di consistenza nonché le osservazioni sul progetto. Ciò vale soprattutto per le luci di grandi dimensioni e le costruzioni portanti di nuovo tipo con particolari costruttivi speciali.

I piani di consistenza esatti sono una premessa necessaria per apportare correttamente riparazioni o modifiche necessarie dopo la messa in uso di un fabbricato. Se questi documenti non sono disponibili, si dovranno effettuare dispendiosi rilievi della costruzione e ricerche difficoltose.

I piani di consistenza sono particolarmente importanti nel caso di cambi d'uso frequenti o quando vi sia la necessità di un controllo costante della stabilità. I disegni contengono essenzialmente le dimensioni della costruzione, le indicazioni dei materiali e gli assorbimenti del carico. Questi piani corrispondono all'incirca a quelli di costruzione, ma il dimensionamento è notevolmente ridotto.

Prestazioni speciali

Di norma, nella progettazione dì un manufatto in legno sono comprese molte prestazioni speciali. In Germania, tutte le prestazioni non riportate nel *Regolamento degli onorari di architetti e ingegneri* come fondamentali, vengono realizzate come prestazioni speciali con un lavoro supplementare. Già nella fase di progettazione preliminare occorre retribuire il lavoro supplementare necessario per i progetti di costruzione di strutture portanti a vista, soprattutto quando vengono fissati principi di ottimizzazione o di valutazione. L'accettazione della geometria da parte dell'ingegnere costituisce una prestazione particolare e come tale viene contabilizzata. Nella fase di approvazione e in quella di esecuzione, la determinazione di carichi particolari e la stesura di un piano di utilizzazione vanno considerate prestazioni particolari. Vengono ritenuti carichi particolari quelli accidentali, dovuti ad esempio a carrelli elevatori a forca, protezione antincendio e raccolta rifiuti. I calcoli dinamici riguardo agli inerti per giunti e ai coefficienti di oscillazione sono considerati prestazioni particolari, al pari della redazione di stati di montaggio e trasporto.

Lo stesso vale per i carichi esplosivi, quelli di macerie o per l'introduzione nella fase esecutiva di misure antisismiche eventualmente necessarie. Per le licitazioni private, la presentazione di un piano dei carichi o di tracciamento degli stessi per la valutazione delle condizioni del fondo di costruzione richiedono un cospicuo lavoro supplementare. In linea di principio, la costruzione in legno è legata a un lavoro di progettazione superiore alla media. Non è raro dover sviluppare particolari costruttivi innovativi che vanno classificati e retribuiti come prestazione particolare. Nel caso di elementi strutturali esposti alle intemperie, bisognerà curare lo sviluppo dei particolari costruttivi. Ulteriori prestazioni particolari si riscontrano nella preparazione e nella collaborazione durante l'aggiudicazione dei lavori, soprattutto per quanto riguarda il controllo del progetto, ossia dal punto di vista dell'ingegnere, della conformazione della struttura portante in accordo con i calcoli e le verifiche statiche.

Sono considerate prestazioni particolari anche la valutazione dell'economicità delle costruzioni in relazione alle diverse esigenze di carattere fisico-costruttivo importanti per la qualità della progettazione complessiva e dello stato d'uso della costruzione. Sono rilevanti: prove delle misure antincendio, delle misure di isolamento acustico, delle misure di isolamento termico.

Progettazione dell'isolamento acustico

In base alla norma DIN 4109, i requisiti delle misure di isolamento acustico dovranno essere definiti in accordo con committente, Ispettorato dei lavori edili e ingegnere di progetto.

Può essere necessario adottare misure sia contro il rumore proveniente dall'esterno che contro fonti di rumore interne. Nei caso del rumore esterno, bisognerà osservare la parte 6 della norma DIN 4109 e altri regolamenti in materia di isolamento dal rumore proveniente dall'esterno. Per la protezione contro il rumore interno, nelia parte 2 della norma DIN 4109 vengono definiti i parametri per il rumore che si propaga attraverso l'aria e il rumore e il suono a propagazione mista. Questi requisiti influiscono anche sulla scelta della costruzione, sull'assorbimento del carico e sul dimensionamento degli elementi strutturali.

Progettazione dell'isolamento termico

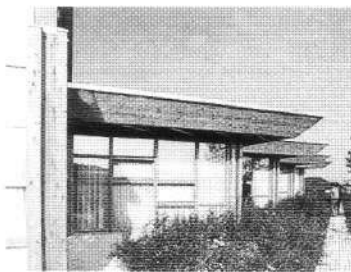
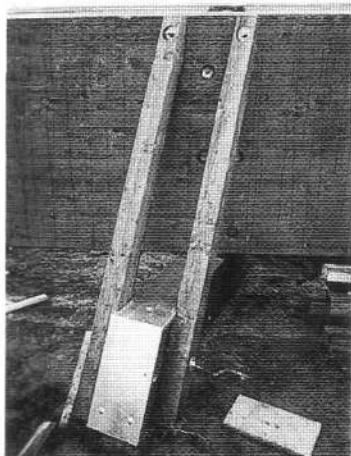
Nella norma DIN 4108 e del Regolamento in materia di isolamento termico vengono definiti i requisiti per un maggiore isolamento termico e vengono indicate le soluzioni possibili. Nel caso della costruzione in legno, si dovrà considerare con particolare attenzione l'isolamento termico estivo, in modo da evitare una climatizzazione artificiale e prevenire così il "clima da baracca".

Nella progettazione dei particolari costruttivi si dovranno evitare i ponti termici e preoccuparsi soprattutto della tenuta al vento dell'involucro esterno.

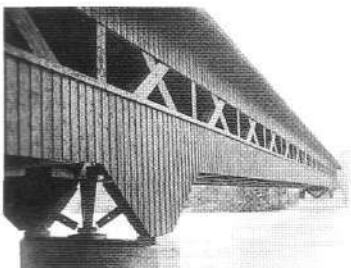
Nel caso di penetrazioni di elementi strutturali e dell'involucro costruttivo, i particolari strutturali dovranno essere progettati e realizzati con cura, in modo da prevenire dispersioni di calore attraverso fessure aperte.

Progettazione della protezione antincendio

Una prestazione particolare molto importante nel campo della costruzione in legno è la valutazione e la prova delle classi di resistenza al fuoco richieste F30, F60 o addirittura F90, in accordo con le autorità. Quando la costruzione in legno corrisponde alle classi di resistenza al fuoco indicate senza che siano necessarie ulteriori misure, utilizzando gli elementi strutturali testati nella norma DIN 4102, si possono omettere le altre prove. La prova delle classi di resistenza richieste può riguardare sezioni trasversali maggiori e collegamenti più dispendiosi di quelli necessari per i valori statici. La prova in base alla norma DIN 4102 può essere eseguita con tabelle di calcolo o programmi.

L'adempimento dei requisiti di protezione antincendio deve essere osservato in tutte le fasi di progettazione, poiché non tutti i tipi di costruzione consentono di raggiungere le classi di resistenza a! fuoco.

Trave marginale inclinata

Elemento di testa coperto

Trave secondaria con copertura antipioggia

Trave in assi di legno lamellare con tavole inclinate e sostituibili, protette dall'umidità

Pannellatura in legno davanti ai punti nodali per ponti a travatura reticolare

Progettazione della protezione strutturale del legno

Va riservata particolare attenzione alla progettazione della protezione strutturale del legno.
Forniamo qui alcune regole fondamentali per aumentare la durata delle costruzioni in legno e per ridurne i costi di manutenzione.

Interni

Gli elementi in legno vanno protetti dall'umidità anche se si trovano all'interno di una costruzione.
Devono essere prevenute umidità superiori al 18%. Lo si può fare isolando i contatti tra muratura e legno. Occorre assolutamente evitare i punti di rugiada alle pareti. Le impermeabilizzazioni di celle dì umidità, in particolare di punti di rottura, dovranno essere progettate nei minimi particolari e la realizzazione dovrà essere controllata con la massima precisione. Gli elementi strutturali in legno dovranno essere costruiti ventilati, per consentire che, in caso di penetrazione di umidità, essi possano asciugarsi in ogni momento. Bisognerà definire con particolare accuratezza la posizione nonché la tenuta degli sbarramenti al vapore e dell'isolamento.

Esterni

Occorre attuare una protezione contro gli spruzzi d'acqua soprattutto per quanto riguarda ie basi dei pilastri. Esse devono essere distanti dal pavimento almeno 15 cm. In particolare, andranno previste misure protettive anche nel caso di legno di testa. Da evitare, per quanto possibile, le superfici orizzontali. È necessario valutare con attenzione l'andamento dell'anello di accrescimento nella sezione trasversale dell'elemento strutturale in legno. In particolare, occorre assolutamente evitare i punti di contatto in cui l'acqua può ristagnare, introducendo distanziali elastomerici, in modo da permettere la ventilazione e lo scarico dell'acqua.

Rivestimenti alle pareti

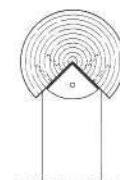
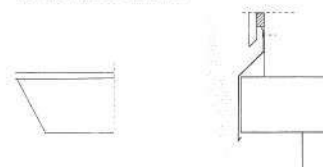
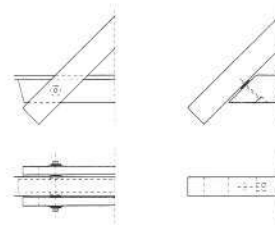
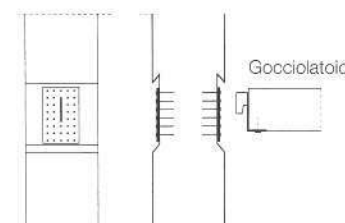
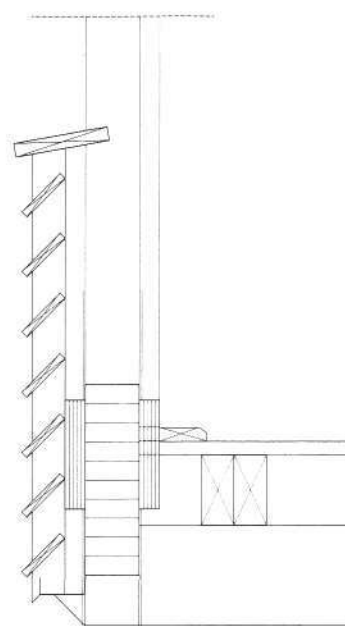
Particolare cura va posta alla forma dei giunti degli assiti e dei rivestimenti delle pareti esposte alle intemperie. Nel caso dei tavolati, si deve controllare che essi vengano fissati al coperto oppure che vengano utilizzati mezzi di fissaggio completi di guarnizioni, per impedire infiltrazioni d'acqua nei punti di fissaggio. Ciò è assolutamente necessario anche per l'impalcato dei ponti.

Elementi di connessione per esterni

Evitare nel modo più assoluto i coprigiunti e gli elementi di connessione installati all'esterno nonché i nodi delle travature reticolari in cui possa penetrare l'acqua piovana. Eventualmente si prevederanno assi di copertura sostituibili, ad esempio in ìarice o in pino impregnato a pressione. Un'altra possibilità, peraltro costosa e formalmente complessa, è la copertura in rame, zinco o lamiera di altro tipo. Quando vengono utilizzati metalli diversi, bisogna badare alla scala delle tensioni elettrochimiche. Va poi evitata la corrosione da contatto. Qualora non siano possibili altre soluzioni, saranno ammessi in ogni caso tutti gli elementi in acciaio, mentre i bordi andranno dotati di gocciolatoi che impediscano la penetrazione dell'acqua tra il legno e il collegamento della lamiera in acciaio. In particolare, bisognerà fare attenzione alle impregnazioni negli elementi di collegamento, nei fori e nelle aperture.
In linea di principio, le parti metalliche non devono essere collegate direttamente con il legno, ma separate da rosette elastomeriche. Inoltre, per gli esterni, qualora non vengano usati acciaio inox o ottone, si impiegheranno elementi in acciaio zincato a caldo.

Fresature di stabilizzazione

Della protezione strutturale del legno fa parte anche la progettazione di fresature di stabilizzazione per impedire la formazione incontrollata di fessure nelle sezioni trasversali del legno e soprattutto per evitare che l'acqua ristagni nelle fessure. Queste fresature di stabilizzazione dovranno essere praticate in assi, pali di legno o legname squadrato, sul lato inferiore degli elementi strutturali. Nel caso di pilastri verticali, è consigliabile prevedere più fresature di stabilizzazione o una profilatura.

Protezione strutturale del legno

Conformazione di corrimano, ad esempio per parapetti di ponti

Protezione mediante copertura con lamiera

Protezione del legno di testa per travi mediante inclinazione o asse di copertura

Collegamento di pilastro alla trave

Protezione della struttura portante di un ponte mediante lamine di legno inserite nel parapetto

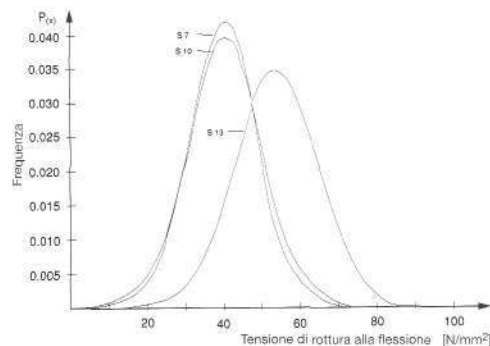
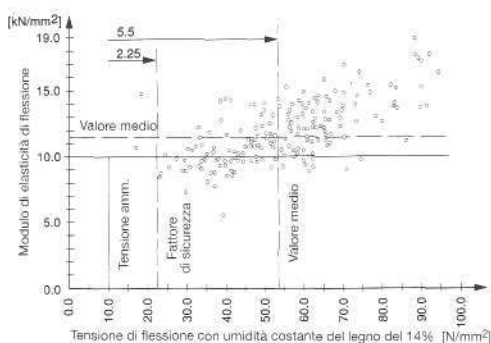
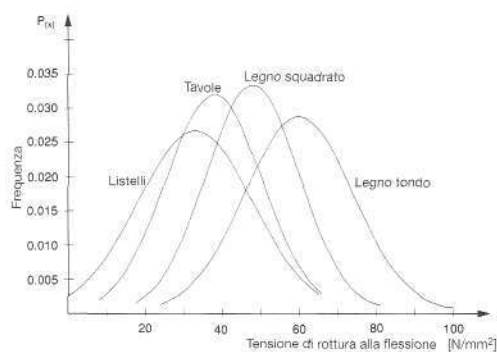
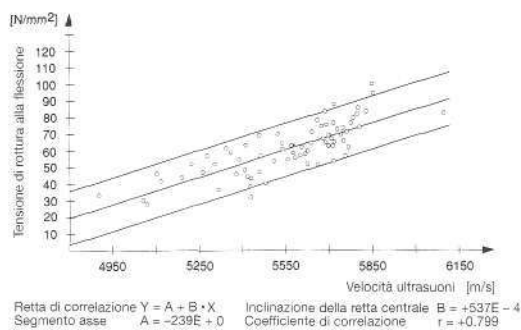
Garanzia della qualità di fabbricazione e trasporto

Qualità del materiale
La realizzazione della struttura portante sulla base dei calcoli e delle verifiche statici nonché i controlli della qualità del legname da utilizzare dovranno essere verificati dallo stesso ingegnere strutturista, dall'ingegnere coliaudatore o da un ispettore di collaudo. Nei casi in cui non sia possibile attuare un controllo ai sensi della norma DIN 18.200, questo dovrà essere effettuato da un ente specializzato che, a! fine di garantire la qualità, potrà prendere in considerazione sia provini che metodi di prova non distruttivi.

Resistenza del legno
La resistenza del legno massello, del legno lamellare, del legno multistrato e dei derivati del legno dipende essenzialmente dalla densità. È possibile che nodosità, fibratura obliqua e fessurazioni causino degli indebolimenti locali che possono però insorgere anche a seguito della costruzione stessa, quali giunzioni dritte od oblique. I coefficienti di resistenza consentiti andranno derivati dalle corrispondenti disposizioni vigenti in materia di edilizia sulla base delle classi di qualità, in casi particolari, grazie a procedimenti di prova non distruttivi e affidabili, è possibile fissare coefficienti particolari per elementi strutturali soggetti a forti sollecitazioni.

Metodi di prova non distruttivi
Per migliorare i risultati di una classificazione visiva in base ai parametri fisico-meccanici del legname segato, è consigliabile applicare metodi di prova non distruttivi come Pilodyn, ultrasuoni, impatto, raggi laser e stress-grading. Quest'ultimo procedimento è indicato per differenziare le singole classi in modo più selettivo e in particolare per controllare il legname destinato a elementi strutturali soggetti aforti sollecitazioni. Possono così essere determinati sia parametri sia il modulo E per le prove di inflessione sia le grandezze di densità da cui risulta una dipendenza diretta con le resistenze alla flessione. Tra i diversi procedimenti, la misurazione a ultrasuoni sembra quello più economico e selettivo. Sulla base dei principi di sicurezza indicati, è possibile fissare e approvare un modello deterministico per i carichi portanti consentiti, in modo analogo alle fondazioni.

Con la classificazione strumentale mediante metodi di prova non distruttivi è possibile selezionare legname squadrato e installarlo nelle diagonali, nei pali ecc. più fortemente sollecitati. Da un lato, la classificazione può avvenire già in segheria, in modo che sia possibile ordinare e consegnare travi *ad hoc* altamente resistenti. Dall'altro, prima di procedere alia copertura è possibile selezionare te travi più solide da un gran numero di travi uguali (ad esempio arcarecci continui) che verranno poi disposte nelle zone esterne. Inoltre, date le notevoli riduzioni di resistenza deila sezione trasversale in collegamenti soggetti a forti sollecitazioni, controllando periodicamente la resistenza del legno è possibile testare l'affidabilità secondo un modello deterministico. In casi particolari, per il legno lamellare bisognerà provare le connessioni a coda dì rondine mediante campionatura. Di fronte a strutture portanti soggette a forti sollecitazioni, gli elementi strutturali potranno essere testati in cantiere, prima del montaggio. Bisogna fare attenzione alla posizione di giunture multiple e alle loro rispettive distanze.

Eurocodice 5
LEurocodice 5 si fonda sul concetto di sicurezza probabilistico, invece che con tensioni consentite, si lavora con "condizioni limite della portata". Vengono così confrontati i valori misurati della portata con quelli misurati degli effetti. I valori misurati si ottengono moltiplicando i valori caratteristici per i coefficienti di sicurezza parziale. In base all'Eurocodice 5, in futuro le classi di resistenza da C 1 a C 10 verranno suddivise secondo una selezione visiva o meccanica. Inoltre, vengono differenziate le classi di densità da D 300 a D 800 in kg/m^3 quali parametri caratteristici e testabili in modo non distruttivo, i moduli E e le tensioni consentite. Le classi di selezione particolari, adottate per la produzione di legno lamellare, devono servire all'ingegnere come base per un dimensionamento affidabile degli elementi strutturali in legno, in considerazione della robustezza dei legno e del tipo di giunzione. Sarà così possibile attuare una differenziazione netta, come risulta consentito dalla classificazione attualmente in vigore.

Dispersione qualitativa del legname segato, in base alle classi di selezione

Relazione tra il modulo E e la tensione di rottura di 200 travi di abete rosso con un'umidità del legno del 16%

Dispersione qualitativa del legname tagliato, in base alle sezioni trasversali

Correlazione tra tensione di flessione e misurazione di velocità degli ultrasuoni

Controlli esecutivi

Umidità del legno
L'umidità del legno andrà controllata dapprima in stabilimento e quindi in cantiere, per garantire la precisione e l'esattezza delle misure. L'umidità di installazione influisce notevolmente sull'utilizzabilità del legno. Una regola fondamentale della costruzione in legno è quella di evitare sbalzi di umidità e, con essi, il ritiro dopo l'installazione.
La percentuale di umidità del legno da installare dovrebbe corrispondere a quella di compensazione che si registra a lungo termine (DIN 1052):
9 ± 3% per costruzioni chiuse e riscaldate
12 ± 3% per costruzioni chiuse e non riscaldate
15 ± 3% per costruzioni coperte e aperte
18 ± 6% per costruzioni esposte alle intemperie.
Questi valori dovranno essere indicati nella richiesta di offerte.

Precisione dimensionale e formazione di fessure
Si possono limitare le deformazioni dovute alla fibratura obliqua del legno prevedendo accorgimenti particolari agli angoli della stessa fibratura, Un'altra misura strutturale consiste nel praticare fresature di stabilizzazione in tavole, pali, legname squadrato, In particolare per costruzioni chiuse e riscaldate con bassa umidità di compensazione.
Dai punto di vista statico, le semplici incrinature da ritiro non sono rilevanti e si possono considerare consentite. Per quanto riguarda le tolleranze dimensionali in seguito a variazioni di umidità, rigonfiamenti e ritiri si rimanda alla norme corrispondenti.
Con la liberalizzazione del mercato europeo, il controllo di qualità in stabilìmento e in cantiere è diventato di particolare importanza per la competitività della costruzione in legno.

In stabilimento

Qualità visive del legno	Nodosità, larghezza dell'anello di accrescimento, fibratura obliqua, tasche di resina, legno reattivo, traboccamento, caratteri dì crescita, azzurramento, resistenza al rosso, infestazione di funghi e insetti
Qualità strumentali del legno	Modulo di elasticità, densità, da cui deduzioni sulla probabilità di rottura (mediante esperimenti, Pylodin, ultrasuoni ecc.)
Umidità del legno	Con strumenti di misurazione, prova in essiccatoio
Consegna, copertura	Misurazioni della sezione trasversale, tolleranze, fessure, fori, giunti
Connessioni, nodi di connessione	Conformità con i disegni esecutivi, numero, dimensioni, disposizione, precisione del passo, qualità dell'acciaio, qualità dei giunti saldati, protezione anticorrosiva
Misure protettive	Impregnazione, verniciatura, protezione contro l'umidità e l'imbrattamento durante il trasporto e il montaggio, protezione degli spigoli
Condizioni dell'adesivo	Temperatura ambiente, umidità ambiente, qualità dell'adesivo, strato di adesivo, tempo aperto dell'adesivo, valore di compressione, durata della compressione, tempo di indurimento
Realizzazione di legno lamellare	Misurazione lamelle, selezione lamelle in sezione trasversale, umidità lamelle, temperatura lamelle, superfici lamelle, giunzioni cuneiformi, disposizione delle lamelle nella sezione trasversale
Montaggio di capriate	Precisione dimensionale, fessure, struttura, posizione delle giunzioni cuneiformi, punti dì rappezzo, aspetto della superficie (piallata, livellata, levigata)

In cantiere

	Qualità di materiale, copertura ecc. come sopra descritto
Stoccaggio intermedio	Protezione dall'umidità, stoccaggio con legna accatastata
Durante il montaggio	Non praticare alcun foro né incisione senza aver precedentemente preso accordi con l'ingegnere. Stabilità contro rotture, ribaltamenti, vento e tempeste. Allineamento esatto di pilastri e capriate prima dell'installazione di controventamenti e irrigidimenti. In casi particolari: verifica della stabilità dei mezzi di montaggio
A ultimazione lavori	Chiusura e impermeabilizzazione immediate delle superfici delle pareti esterne, lento rialzo della temperatura per evitare incrinature da ritiro

Metodi di restauro e di risanamento

Per preservare le costruzioni particolarmente antiche è consigliabile controllarne periodicamente le condizioni, in modo da adottare tempestivamente misure opportune.
Se si trascura l'effettuazione dì questi contraili, in seguito sarà necessario eseguire estesi e costosi restauri. Si comincia quindi con l'analisi dello stato della costruzione.
A tal proposito esistono diverse tecniche mediante le quali è possibile determinare la causa e l'entità del danno:
la termografia, il carotaggio e l'endoscopia che viene praticata nei punti più difficilmente accessibili del fabbricato.
Le estremità marce delle travi di appoggio nelle cavità della muratura sono un danno che si riscontra frequentemente nelle costruzioni storiche, rilevabile mediante ultrasuoni.
Il risultato dell'analisi viene riportato sotto forma di documentazione con indicazioni relative alle condizioni dei singoli elementi strutturali, all'uso attuale o previsto, ai provvedimenti necessari per consentirne l'utilizzo in futuro e ai costi dei provvedimenti proposti.
Di seguito viene descritto punto per punto il procedimento per il risanamento di una struttura reticolare.

Fattori decisionali fondamenntali
Uso attuale e futuro; valore strutturale e normale; rilevamento approssimativo; preventivo dei costi.

Fasi di pianificazione
Rilevamento dei lavori; documentazione; elenco dei danni; descrizione; formulazione mirata; progettazione.

Misure di risanamento
Prosciugamento; scoprimento; integrazione; ammodernamento; struttura; tetto; tralicci.

Misure di ammodernamento
Cambio d'uso; statica; isolamento termico e acustico, protezione del legno; impiantistica; finiture.

Riportiamo qui, nell'ordine, le fasi di progettazione e dei lavori.

Fattori decisionali fondamentali
- uso originario;
- uso attuale;
- valore d'uso;
- misurazione;
- rilievo approssimativo;
- valore storico;
- valore formale e strutturale;
- importanza per l'immagine del luogo;
- uso e obiettivi;
- redditività di un ammodernamento;
- risorse pubbliche necessarie;
- colloquio preliminare con gli uffici tecnici e la Sovrintendenza ai beni culturali.

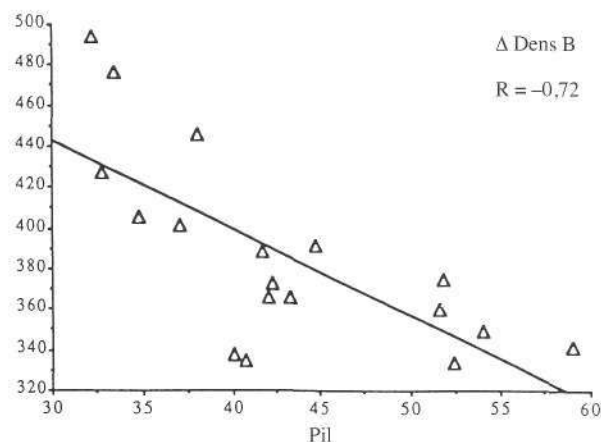
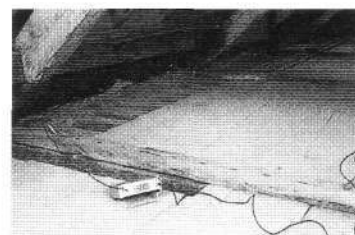
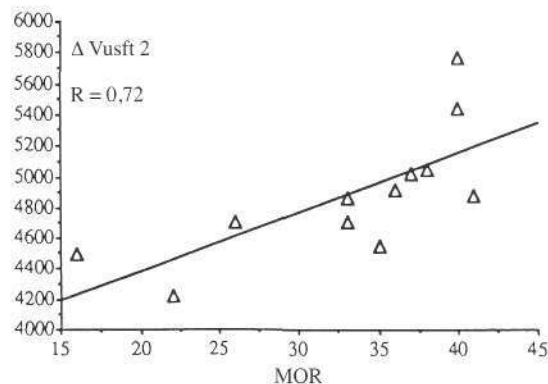
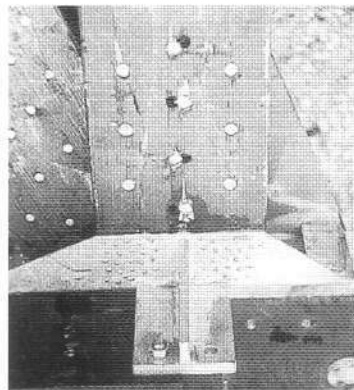
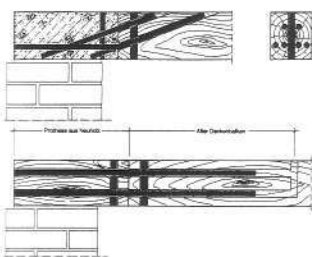
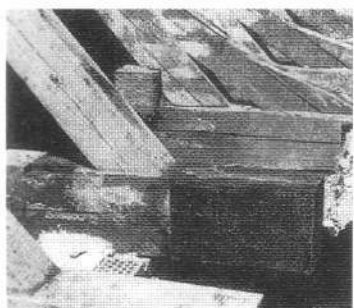
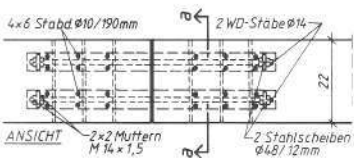
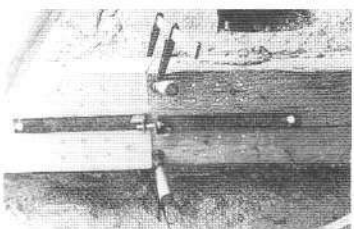
Documentazione
- Documentazione fotografica comprendente l'ambiente circostante.
- Scoprimento della costruzione.
- Rilevamenti topografici, rilevamento dell'edificio.
- Determinazione del danno.
- Descrizione dei lavori, storia dell'edificio.

Risanamento del rustico
- Disegni di ricostruzione.
- Descrizione della ricostruzione.
- Elenco delle parti danneggiate.
- Progettazione del restauro.
- Accordi con gli uffici tecnici e la Sovrintendenza ai beni culturali.
- Accordi con gli ingegneri specializzati.
- Capitolato d'appalto.
- Costi del risanamento.
- Piano dei finanziamenti.

Ammodernamento
- Definizione degli obiettivi.
- Piani d'uso.
- Descrizione dei lavori.
- Costi dell'ammodernamento.
- Piano dei finanziamenti.
- Calcolo della redditività.
- Piano dei tempi di costruzione; piano delle fasi di costruzione.
- Esecuzione.
- Esecuzione in base al piano delle fasi di costruzione.
- Contabilizzazione.
- Controlli di qualità.

Per calibrare le analisi non distruttive è consigliabile ricorrere alle prove sperimentali su provini di dimensioni reali.
Mediante le misurazioni non distruttive è quindi possibile testare ciascun elemento singolarmente e decidere in merito alla sostituzione di elementi strutturali non affidabili o al rinforzo con strutture composte, come ad esempio pannelli di legno o strutture miste legno-calcestruzzo.

Rilevamento delle resistenze residue
La valutazione delle resistenze residue ancora presenti è per l'ingegnere un problema fondamentale, che viene affrontato con metodi di prova strumentali e non distruttivi come il Pilodyn e altri, eseguiti con apparecchi a impatto o a ultrasuoni. In tal modo è possibile determinare I moduli di elasticità e le probabilità di rottura con una precisione maggiore di quanto non sia possibile fare sulla base delle valutazioni visive della resistenza del legno.
Con questi metodi è possibile ottenere una buona base di partenza per stimare il costo del risanamento e dei restauro nonché i metodi idonei.

Misurazione con Pilodyn

Correlazione tra densità e rilevazione con Pilodyn di travi di una vecchia costruzione in legno

Misurazione ad ultrasuoni

Correlazione tra la velocità dell'ultrasuono e la resistenza alla flessione di travi di una vecchia costruzione in legno

Riempimento con adesivo di fori di spine malamente praticati alla base di un pilastro

Estremità di trave applicata di testa in calcestruzzo-resina a reazione con armatura in fibra di vetro

Esempio di una integrazione legno-legno di travetti

Conformazione di un giunto di testa con tassello a serraggio

Esempio di una integrazione legno-legno mediante tasselli a serraggio

Risanamento di fessurazioni

È possibile che, per quanto riguarda le travi in legno, si verifichino fessurazioni o rotture causate dall'azione degli agenti atmosferici, da influenze di carattere fisico-costruttivo, da difetti di costruzione o da un'incuria nell'esecuzione, nella giunzione e nel montaggio.

È quindi consigliabile iniettare nelle fessure resina epossidica. Così facendo, grazie all'aderenza e alla resistenza della colla, sarà possibile chiudere le fessure larghe anche fino a 5 mm.

Bisogna controllare che la colla sia mescolata con mastici idonei, in modo da ottenere connessioni accoppiate dinamicamente.

Riparazione di danni verificatisi sulle strutture in legno

Qualora risultasse troppo difficoltoso sostituire intere strutture o singoli elementi strutturali, i diversi danneggiamenti potranno essere riparati. Il procedimento Beta, autorizzato dall'Ispettorato edile tedesco, consiste nel riparare i punti danneggiati con una malta di resina epossidica a due componenti e con un'armatura in fibra di vetro.

Se si rendesse necessario sostituire interi elementi di legno, allora le strutture di legno vecchie e nuove potrebbero essere accoppiate dinamicamente ricorrendo al cosiddetto tassello a iniezione.

Consolidamento delle strutture lignee esistenti

Solitamente, a seguito di nuove destinazioni d'uso con carichi maggiori, nel restaurare le vecchie strutture in legno è necessario applicare rinforzi. In linea di principio, essi consistono nell'aggiunta di strutture in legno al fine di aumentare la resistenza alla flessione e a! taglio nonché i carichi portanti.

Strutture composte legno-legno

Le travi disponibili e le strutture da collegare in legno massello, legno lamellare o legno compensato possono essere unite a formare strutture portanti mediante un incollaggio chiodato.

Con gli sviluppi più recenti si afferma la realizzazione di strutture composte a forma di pannelli nervati, per cui, ad esempio, una travatura può essere rinforzata applicando pannelli in legno compensato o in legno multistrato.

Strutture composte legno-calcestruzzo

Le flessioni verificatisi nelle travi del tetto e impossibili da eliminare possono essere pareggiate applicando uno strato di calcestruzzo. A questo scopo, bisognerebbe prevedere un incavigliamento tra calcestruzzo e travi in legno, in modo da ottenere, grazie al calcestruzzo stesso, la rigidità più elevata possibile.

La combinazione tra struttura nervata ovvero struttura con pannelli nervati e soletta portante in calcestruzzo costituisce una soluzione economica.

La struttura con pannelli nervati soddisfa contemporaneamente le seguenti esigenze:

- elevata rigidità, anche contro le oscillazioni;
- elevata insonorizzazione, fino a 60 dB;
- elevata durata delle classi di resistenza al fuoco F30, F60, F90;
- il legno e i materiali in legno sono portanti, ma sono installati come cassaforma persa

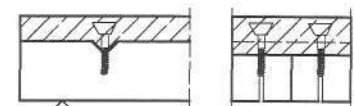
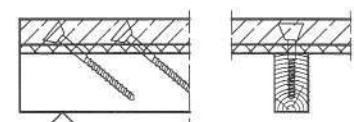
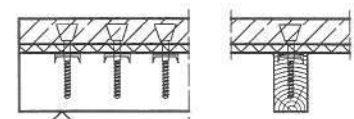
Inoltre, rispetto a una soletta piena in calcestruzzo, è possibile ridurre notevolmente il peso proprio.

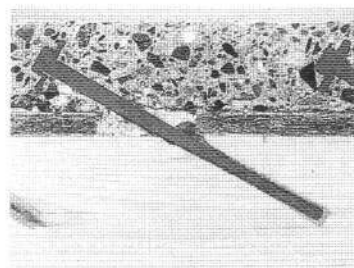
Il problema della soletta composta legno-calcestruzzo è l'economicità delia tecnica di giunzione ovvero del tipo di accoppiamento dinamico della giunzione tra la nervatura in legno, soggetta a sollecitazione di flessione, e la soletta di calcestruzzo, sottoposta a sollecitazione di pressione.

Sono consentiti i mezzi di giunzione convenzionali come caviglie ad anelli unilaterali, viti ecc.; essi, tuttavia, causano grandi deformazioni, in particolare con carichi durevoli, dovute al ritiro o allo spostamento del calcestruzzo, allo spostamento della giunzione in legno e quello delle strutture lignee.

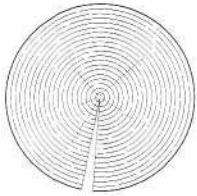
Inoltre, nelle moderne strutture composte legno-calcestruzzo non si può considerare ottimale, dal punto di vista strutturale, la persistente assunzione del carico delle forze di spinta nella soletta di calcestruzzo.

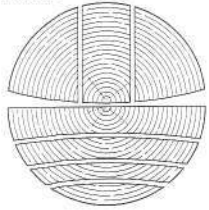
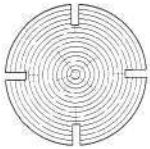
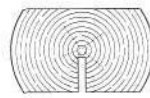
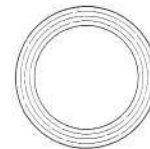
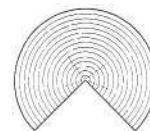
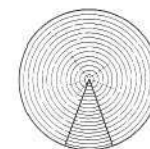
Altri vantaggi garantiti dalla struttura composta legno-calcestruzzo sono: i valori relativamente buoni che è possibile ottenere per quanto riguarda l'isolamento acustico, la protezione antincendio e l'insensibilità ai danni provocati dall'acqua.

Consolidamento di travi di una costruzione storica con pannelli di legno multistrato

Connettore precompresso con intaglio

Connettore obliquo

Connettore unilaterale

Diverse possibilità per la connessione nelle strutture miste legno-calcestruzzo

Sezione di un elemento costruttivo in struttura mista legno-calcestruzzo con bullone obliquo

Prova di carico di un pannello composto di legno e calcestruzzo

Deformazioni da ritiro

Fessurazione da ritiro

Raggi midollari

Sezioni per pilastri

Tronco a sezione circolare con 4 fresature di stabilizzazione a disposizione radiale

Tronco a sezione circolare refilato con fresatura di stabilizzazione fino al centro

Tubo ricavato da una sezione circolare da cui il durame è stato estratto mediante perforazione o segatura

Sezione di tre quarti di tronco a sezione circolare

Segmento di tronco a sezione circolare con cuneo tensore

Varianti di materiale e forme di sezione degli elementi strutturali

Sezioni circolari e loro composti

Il legno tondo e ie sezioni profilate di legno tondo, una modena forma di impiego del legno come materiale da costruzione, possono essere economicamente utilizzate per le costruzioni più diverse. Usato per costruzioni agricole (a pali), ponti e torri, parchi gioco per bambini, pareti con isolamento acustico, muri portanti, pali del telefono e della corrente, il legno a sezione circolare è un materiale da costruzione economico che dà buoni risultati nel caso di impregnazione a pressione in autoclave.

Il vantaggio essenziale dell'impiego della sezione circolare è l'alta resistenza, poiché la direzione naturale della fibratura non viene interrotta.

Il grande svantaggio, rappresentato dalla formazione incontrollata di fessurazioni, può essere ridotto mediante fresature di stabilizzazione e profilando il legno. Viene così favorita anche una più rapida essiccazione e si ottiene una migliore impregnabilità.

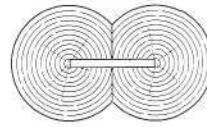
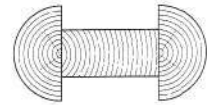
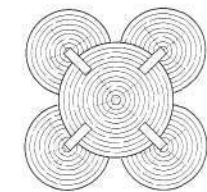
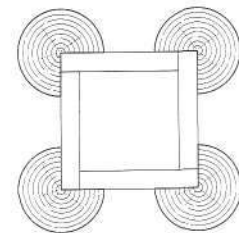
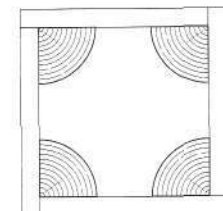
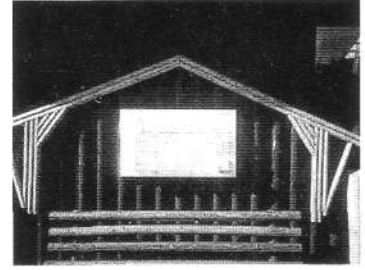
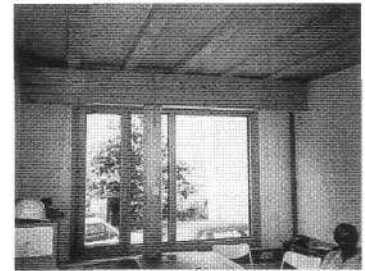
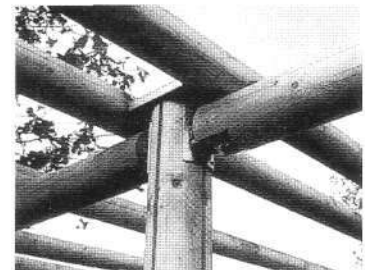
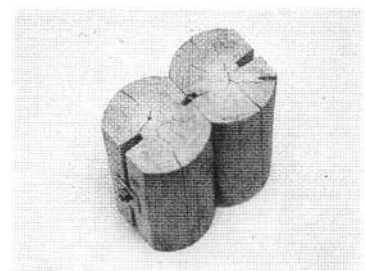
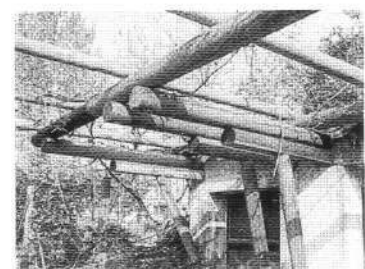
Con l'impiego di legno refilato è possibile risolvere il problema della fastidiosa rastremazione. Inoltre si ottengono superfici piatte adatte per gli elementi di collegamento.

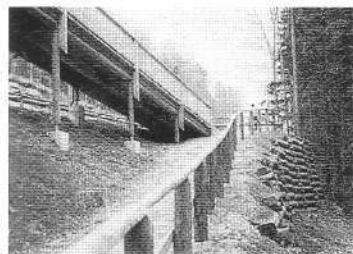
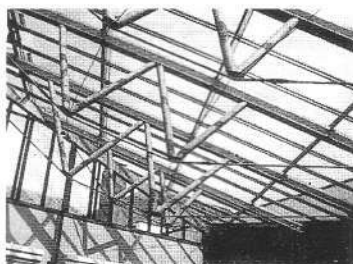
La rastremazione può essere anche conseguita in modo molto economico togliendo la corteccia dei tronchi, in particolare del legno debole, che viene normalmente usata come legna da ardere. In fase di lavorazione, le sezioni cilindriche possono essere profilate e dotate di fresature dì stabilizzazione. Le sezioni profilate possono essere unite fra loro come sezioni composte per essere utilizzate come pilastri oppure travi con elevato momento d'inerzia.

In questo caso, come elementi di connessione, sono disponibili chiodi e spine.

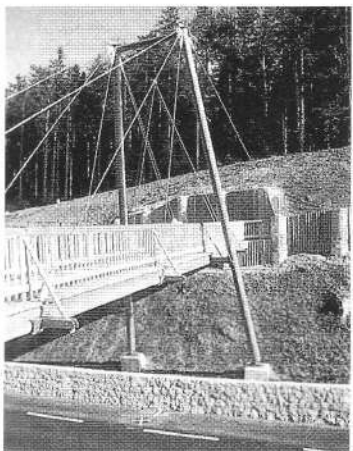
In particolare, le sezioni complesse per pilastri di collegamento, aste multiple e altre parti strutturali composte da più elementi offrono vantaggiose possibilità di impiego.

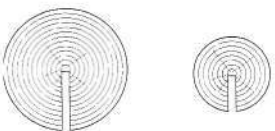
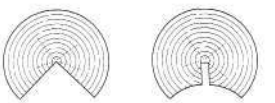
A tal fine sono adatte anche le parti strutturali soggette a grosse sollecitazioni come ì pilastri portanti dei piani rialzati.

Sezioni composte per pilastri

Sezione composta da due tronchi a sezione circolare refilati

Sezione composta da due metà di legno tondo e da uno squadrato, ad esempio per pilastri incastrati

Sezione composta da un tronco a sezione circolare e quattro segmenti circolari raggruppati radialmente

Sezione composta da tavole e da sezioni di tre quarti di tronco a sezione circolare

Sezione composta da tavole oppure pannelli con quarti di tronco a sezione circolare

Portale con tre cerniere formato da tronchi a sezione circolare composti

Pilastri di tronchi a sezione circolare

Pergola di tronchi a sezione circolare

Tronchi a sezione circolare composti, refilati e con fresature di stabilizzazione

Pergola di un parcheggio (a mensola)

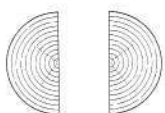
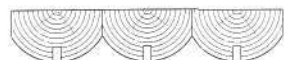
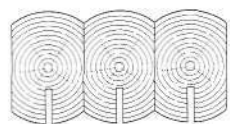
Sezione composta con tronchi a sezione circolare reciprocamente incavicchiati

Muro di sostegno composto da tronchi a sezione circolare refilati

Montanti di compressione di un sistema rinforzato con tirante composto da legno tondo

Produzione di travi portanti incavicchiate in officina

Travi incavicchiate

Ponte sospeso con travi in legno tondo incavicchiate

Sezioni per travi e solai

Travi con fresature di stabilizzazione fino al centro

Tre quarti di tronco a sezione circolare

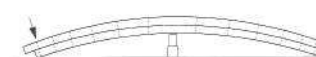
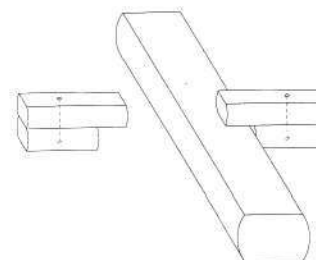
Segmento di tronco a sezione circolare

Mezza sezione circolare

a tenaglia

refilate, tagliate al centro e con fresature di stabilizzazione per tetti e solai

refilate, con fresatura di stabilizzazione per solaio in legno massello

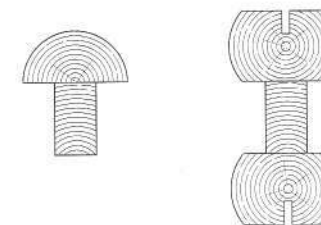
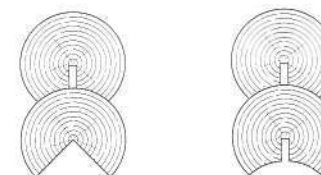
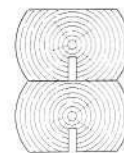
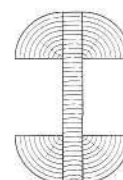
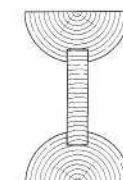
A causa della relativa limitazione di dimensionamento della sezione trasversale, la distanza fra i pilastri formati da tronchi a sezione circolare è limitata a 12 m.

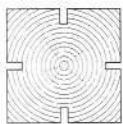
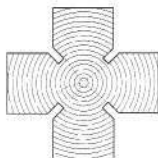
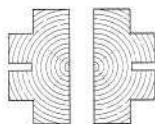
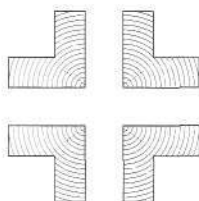
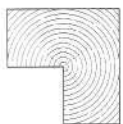
Sezioni trasversali composte incavicchiate di tipo economico si ottengono installando una sovrapposizione e utilizzando profili sottili. Grazie alla sovrapposizione viene eliminato lo scorrimento iniziale del materiale di connessione, ottenendo un maggior momento d'inerzia. Le sezioni composte consentono inoltre una facile realizzazione di appoggi intagliati.

Produzione di travi incavicchiate con sovrapposizione

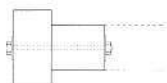
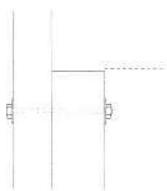
Travetto incavicchiato
Il lato inferiore di montaggio è il lato superiore di installazione. Per favorire la protezione strutturale del legno i fori delle spine non sono passanti

Travetto incavicchiato
Spine non dotate di fori passanti e quindi non visibili nella parte inferiore

Connessione di travi incavicchiate all'arcareccio

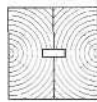
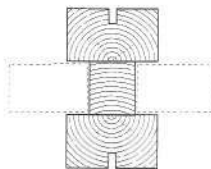
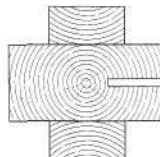
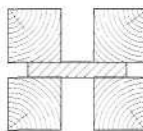
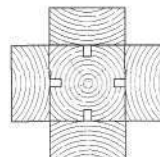
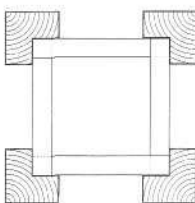
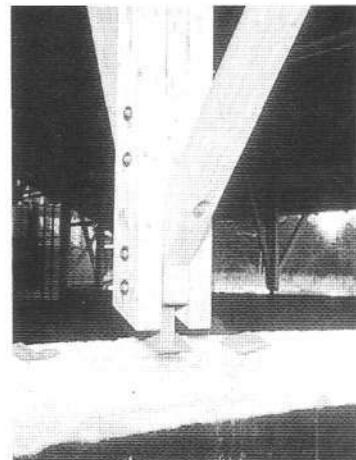
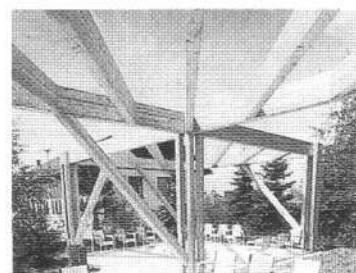
Sezioni composte per travi nei solai di calcestruzzo e legno

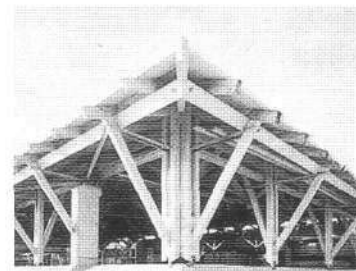
tagliate al centro, refilate e dotate di fresatura di stabilizzazione come sezioni di trazione e cassaforma persa nelle solette miste in calcestruzzo e legno

Diverse varianti di travi incavicchiate

Travi incollate

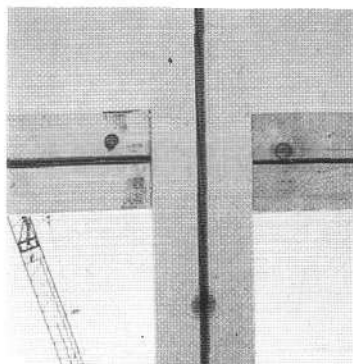
Sezioni di montanti in legno squadrato

Sezione quadrata con fresature di stabilizzazione

Sezione a croce

Sezione a croce profilata divisa a metà con fresatura di stabilizzazione

Sezione ad angolari

Sezione angolare grande

Sezioni quadrate e loro composti

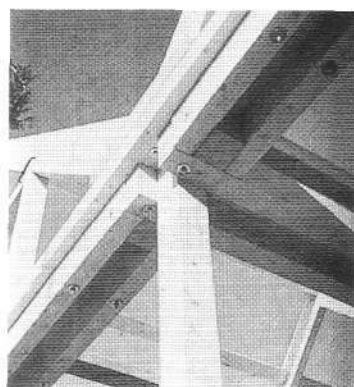
Una delle sezioni più comuni nelle costruzioni in legno è rappresentata dal legno a sezione quadrata.
Il suo impiego è tuttavia limitato a travi la cui lunghezza massima è di 8m, a causa delle misure di sezione e della lunghezza dei tronchi. Gli svantaggi costituiti dalla formazione di fessurazioni e dallo svergolamento causato dal ritiro naturale, soprattutto per quanto riguarda grosse sezioni che includono l'anima, possono essere ridotti praticando fresature di stabilizzazione e profilando il legno. Il vantaggio delle fresature di stabilizzazione e della profilatura, che seguono la crescita naturale, consiste nel fatto che la fibratura obliqua viene tagliata, minimizzando così il rischio di svergolamento e di formazione di fessurazioni e accelerando la successiva essiccazione. Con le diverse sezioni profilate si possono comporre, in diversi modi, sezioni di collegamento per pilastri e travi portanti. Con le sezioni a croce, le sezioni ad angolari e quelle composte per montanti nelle costruzioni di ossature e di padiglioni, e con la profilatura si ottengono ottime possibilità di connessione per facciate, porte e finestre. Le sezioni di legno squadrato con fresature di stabilizzazione possono essere impiegate anche con l'anima, rendendo così possibile l'utilizzo di sezioni più grandi. Una fresatura di stabilizzazione riduce inoltre il rischio di fessurazione della sezione di legno nella giunzione sottoposta a sollecitazione di taglio. Per i ritti con fresature di stabilizzazione si consiglia di tenere conto della disposizione degli anelli annuali di accrescimento.

Possibilità di appoggio della trave in caso di montanti composti

Sezioni composte per montanti verticali

Sezione composta da legni squadrati tagliati al centro con fresatura di stabilizzazione all'interno

Profilo a I formato da sezioni squadrate composte

Sezione a croce formata da tre sezioni squadrate

Sezione di forma quadrata composta da una tavola e da quattro legni squadrati

Sezione a croce formata da una trave squadrata e quattro tavole

Montanti liberi con tamponature

Montante in tre parti di un telaio libero

Connessione di un montante in quattro parti con saettone e trave

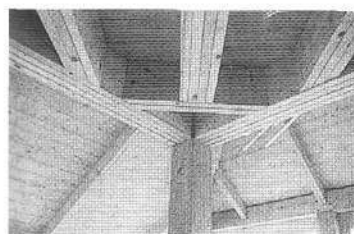
Montante in quattro parti, ognuna con due contraffissi disposti ortogonalmente

Soluzione angolare con montante a croce

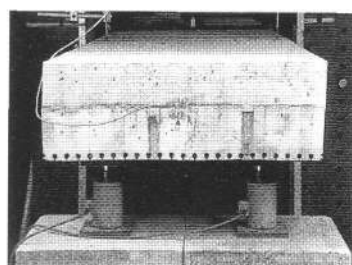
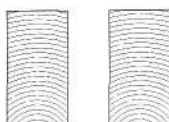
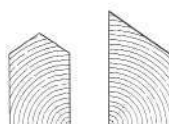
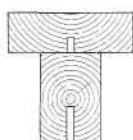
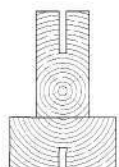
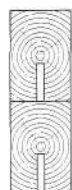
Buone possibilità di connessione con montanti a croce formati da squadrati a sezione angolare

Travi a sezione quadrata con fresatura di stabilizzazione

Sezioni di travi in legno squadrato

Sezione rettangolare con fresatura di stabilizzazione fino al centro

Struttura portante di un tetto formata da sezioni scomposte

Sezioni divise a metà con fresatura di stabilizzazione

Sezioni piallate

Travi composte da tavole verticali: 2, 3, 4 tavole per trave a seconda della campata.

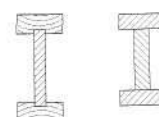
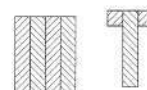
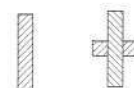
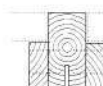
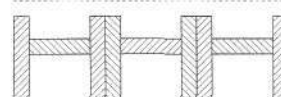
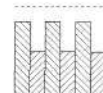
Soffitto di tavole in un'abitazione

Soletta in struttura mista tavole-calcestruzzo sul banco di prova

Travi a sezione composta

Legno profilato e sezioni composte di legno squadrato e legno profilato

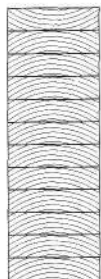
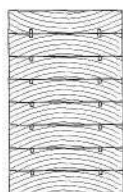
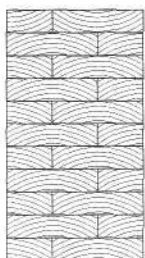
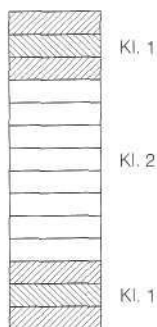
Come le travi a sezione circolare, anche le travi di legno squadrato e le tavole sono componibili in una grande varietà di sezioni profilate, come ad esempio sezioni a T oppure a I, o anche in pannelli continui. Come mezzi di connessione si consigliano chiodi, viti oppure incollaggio a pressione rinforzato da chiodi. Nella lavorazione si deve tuttavia tenere conto dell'umidità del legno, che non deve superare il 16-18% e, in caso, di incollaggio il 15%.
Per le solette o le strutture del soffitto sottoposte a carichi elevati sono particolarmente adatte le costruzioni composite in sezioni profilate anche con calcestruzzo.
È possibile usare congiuntamente con buoni risultati diversi tipi e qualità di legno, risolvendo in modo economico problemi che riguardano i dettagli e gli appoggi. L'impiego di legno profilato offre altre possibilità di variazioni e applicazioni per le costruzioni in legno, con contemporaneo contenimento dei costi.

Soletta in struttura mista con tavole sul banco di prova

Profili formati da tavole

Profilo con fresature di stabilizzazione

incollato, a maschio e femmina

con geometria variabile per costruzioni da collegare

come appoggio per travi secondarie

nelle solette in struttura mista legno-calcestruzzo

Produzione

Trave con larghezza ≤ 220 mm

Struttura con fresature di stabilizzazione larghezza > 220 mm

Struttura con tavole in due parti
Parte sottile non incollata,
larghezza > 220 mm

Struttura di sezioni nobilitate

Legno lamellare

Lo sviluppo dei sistemi di costruzione a incollaggio ha permesso agli Ingegneri di impiegare sezioni più ampie e più efficaci dal punto di vista statico e, di conseguenza, di aumentare sensibilmente la capacità di carico e le dimensioni delle campate delle costruzioni in legno.

Tipo di legno e di adesivi

Il legno lamellare viene prodotto solitamente con legname di conifere, facilmente lavorabile e che soddisfa i normali requisiti di resistenza e durata. Il legno più comunemente usato è quello di abete rosso. Talvolta può essere impiegato anche legno di pino, di larice oppure dì douglasia, qualora siano richiesti requisiti particolari di impregnabilità e di resistenza alle intemperie. I legni duri sono difficili da lavorare la resistenza dell'incollaggio non è garantita.

Per l'incollaggio vengono utilizzate attualmente resine ureica, resorcìnica ed epossidica. Per una temperatura normale da interno è sufficiente incollare il legno lamellare con resina ureica durante la produzione; la resina è resistente all'acqua e, grazie alla sua colorazione chiara, si distingue appena dal legno. Per gli elementi strutturali sottoposti agli agenti atmosferici, alle alte temperature e a condizioni climatiche molto variabili devono essere impiegati adesivi a base di resina resorcinica, che si riconoscono dal colore marrone scuro.

Condizioni di produzione

Le aziende produttrici di legno lamellare devono attenersi a una serie di direttive e normative sulla qualità che consentono di fornire un'elevata garanzia sui requisiti del legno lamellare. Per la produzione di legno lamellare viene richiesto l'impiego di tavole stagionate, la cui umidità al momento dell'assemblaggio non deve superare il 3% dell'umidità condizionata prevista. Prima di procedere all'incollaggio, le tavole vengono sottoposte a essiccazione meccanica, quindi vengono selezionate secondo criteri visivi e collegate con incastri a coda di rondine. La temperatura e l'umidità dell'aria dell'ambiente in cui si svolge la produzione del legno lamellare devono essere costantemente monitorate con controlli interni ed esterni.

Nei documenti che si riferiscono alla richiesta di offerte si dovrà fare riferimento all'osservanza dei relativi criteri.

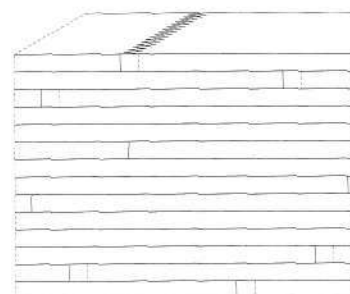
Qualità del legno

Le classi di qualità secondo la solidità e la valutazione della nodosità sono stabilite nella norma DIN 4074, parte 1, *Condizioni di qualità per segati da legname di conifere secondo la solidità,* e l'impiego per la produzione di legno lamellare è regolato dalla norma DIN 1052, parte 1, *Costruzioni in legno, progettazione e lavorazione.* Le fessurazioni da ritiro che si presentano sulle superfici dipendono dal materiale e fino a una profondità pari a 1/6 circa della larghezza dell'elemento strutturale vengono coperte dalle tensioni ammissibili secondo la normativa. Particolari requisiti estetici della superficie devono essere sempre concordati. Durante la progettazione occorrerà accertarsi che vengano rispettati i limiti per le sollecitazioni da trazione trasversale e i raggi di deformazione minima ammessi,

Misure del legno lamellare

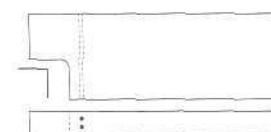
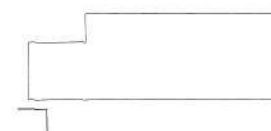
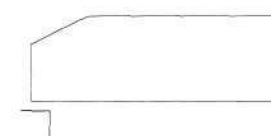
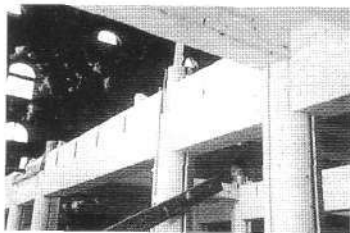
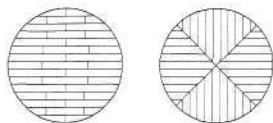
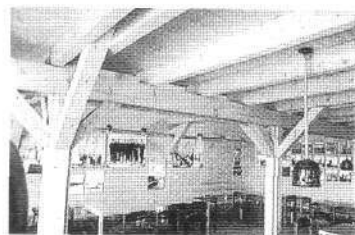
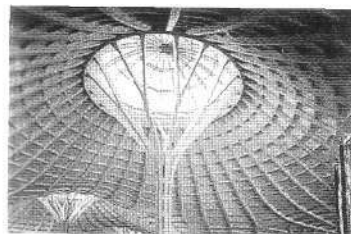
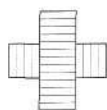
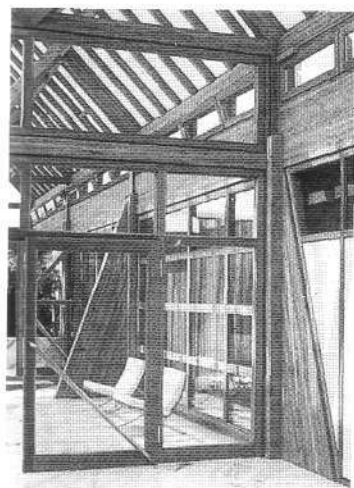
La larghezza e l'altezza delle sezioni dì legno lamellare sono limitate dalle dimensioni della piallatrice. La lunghezza delie travi di legno lamellare dipende dal tipo di trasporto. Se le condizioni stradali sono buone è possibile trasportare dal luogo di produzione a quello di montaggio travi lunghe anche 60 m. Nel caso di travi incurvate, l'altezza di trasporto o di freccia dipende dalla larghezza della strada e dall'altezza delle zone di transito. Le misure sono limitate a 4,2 m per trasporto normale e fra 4,8 m e 6,0 m per trasporti eccezionali. L'altezza delle travi dovrebbe essere limitata ai 2 m, per evitare picchi di sollecitazione. Inoltre non dovrebbe venire superata la snellezza b/h = 1:10.

Vernice protettiva

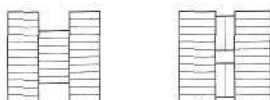
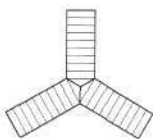
Gli elementi strutturali in legno lamellare che rimangono visibili in ambienti interni non necessitano di preservanti chimici del legno. Qualora fossero invece direttamente esposti agli agenti atmosferici, si renderà necessario un accurato trattamento con preservanti chimici del legno, che va ripetuto in seguito all'inevitabile formazione di fessurazioni da ritiro.

Incastri a coda di rondine

Sagomatura di appoggio senza rinforzo

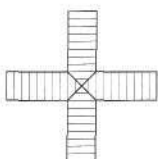
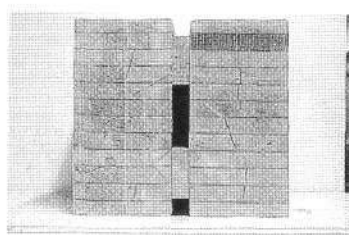
Sagomatura di appoggio con rinforzo

Sagomatura di appoggio obliqua

Rinforzo con asta filettata incollata oppure con tondino per cemento armato

Sagomatura di appoggio

Smusso secondo la norma DIN 1052, parte 1, sez. 8.2.2

Connessione di montante circolare e trave, entrambi in legno lamellare

Montante a croce con contraffissi

Montante ramificato in legno lamellare

Montante incastrato - controventamento

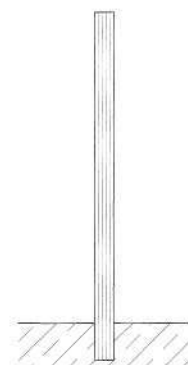
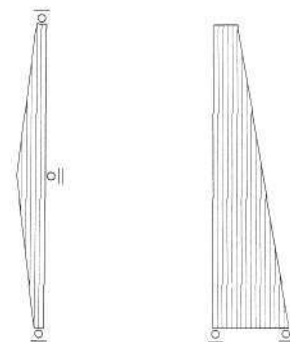
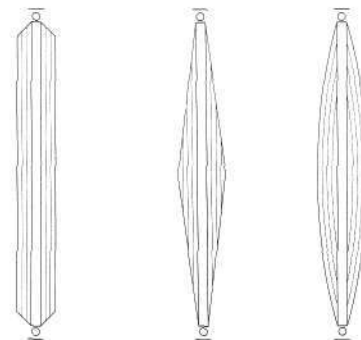
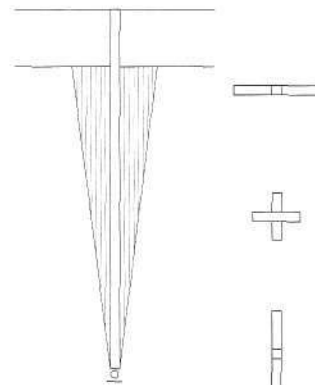
Forma particolare di un montante a croce

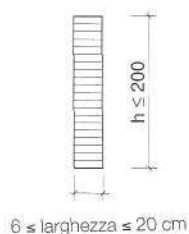
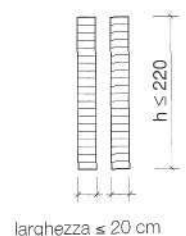
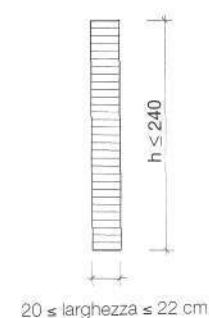
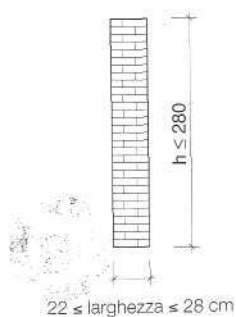
Circolare

Quadrato

A croce

Profilo ad I

Montanti liberi disposti a triangolo

Montanti disposti a croce

Forme di sezione trasversale
Le sezioni di forma più semplice e comune sono quelle circolari, quadrate e rettangolari. Le sezioni profilate possono essere prodotte mediante incollaggio a pressione rinforzato da chiodi oppure con l'incollaggio di singole sezioni, prestando particolare attenzione e cura al momento dell'incollaggio e della rimozione deile gocce dì colla.
Le sezioni profilate possono essere prodotte anche sotto forma di montanti composti, uniti con elementi meccanici di connessione. Lo scorrimento riduce tuttavia notevolmente il momento d'inerzia effettivo e quindi il raggio d'inerzia. In casi particolari è possibile produrre montanti in legno lamellare a sezione circolare utilizzando il tornio.

Forme in prospetto
I montanti possono essere di forme diverse, di altezza variabile per soddisfare i requisiti statici. La produzione, ossia l'incollaggio e il montaggio, richiede una particolare cura, evitando di tagliare la fibratura del legno o eventualmente proteggendo i tagli con lamelle.

Profilo a I incollato

Montante fissato nel cemento

Montanti incastrati

Montanti caricati su cerniere

Forme speciali

Sezioni di travi in legno lamellare

6 ≤ larghezza ≤ 20 cm

larghezza ≤ 20 cm

20 ≤ larghezza ≤ 22 cm

22 ≤ larghezza ≤ 28 cm

Forme di travi

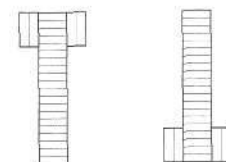
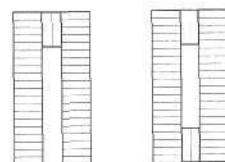
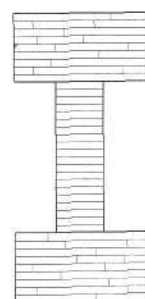
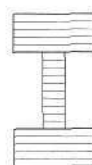
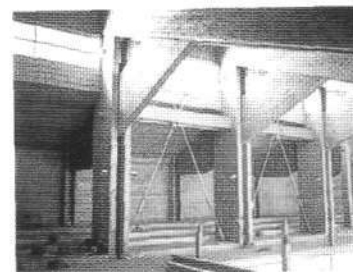
Le travi in legno lamellare nella forma longitudinale si adattano particolarmente all'andamento del momento e sono quindi modellabili secondo i requisiti statici. Per le travi incurvate occorre tenere conto della sollecitazione a trazione trasversale, che si verifica a causa della forma, il raggio di curvatura è limitato, tuttavia può essere influenzato dallo spessore delle lamelle. I bordi refilati dovrebbero essere rinforzati contro la trazione trasversale con lamelle di copertura. Le diverse possibili configurazioni delle sezioni longitudinali e la connessione degli elementi strutturali consentono dì creare sistemi portanti come telai, tiranti o travi sospese.

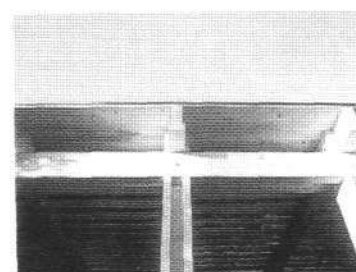
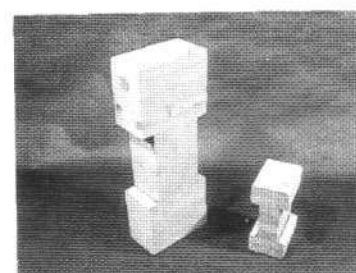
Forme speciali

Per l'articolazione marginale di membrane in pannelli di legno, per nervature di strutture nel piano ricurve doppie e per i montanti delle scale possono essere realizzate sezioni incollate con doppia curvatura e torsione. Per attuare il complesso incollaggio è necessaria una sagoma tridimensionale per la pressatura del legno lamellare.

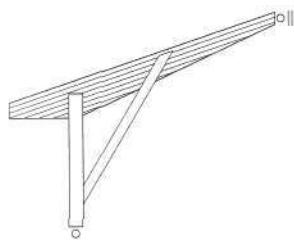
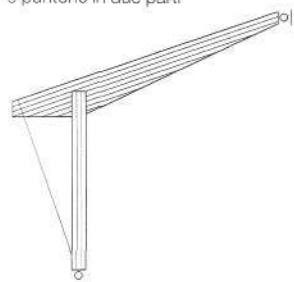
Sezioni composte

Le sezioni profilate incollate vengono prodotte con incollaggio delle ali a pressione rinforzato da chiodi oppure con incollaggio su banco. Le sezioni di grosse dimensioni devono essere incollate con particolare attenzione e cura. Le sezioni composte, in particolare le travi a I, risultano economiche se si considerano particolari requisiti. Altre possibilità di combinazione sono rappresentate da travi con ali in legno lamellare e anima di materiale a base di legno, oppure con anima in legno lamellare e tavole in materiale a base di legno, fino a ottenere diverse geometrie di pannelli e travi.

Sezioni composte

Sezioni a T

Sezione a cappello, sezione scatolare

Sezioni a I

Montanti e travi per telaio composti da due parti recanti nel mezzo una diagonale intera

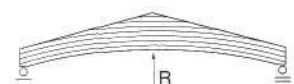
Trave principale fra montante doppio

Travetto con sezione a I
Montante con sezione a I

Sezioni a I in legno lamellare

Sezione a U

Forme longitudinali di travi

Traverso intero, montante
e puntone in due parti

Traverso intero
Montante composto da due
o tre parti, con tirante

Trave in legno lamellare sopraelevata

Trave per tetto a due spioventi

Trave rettangolare divisa per due tetti
a uno spiovente

Trave per tetto a due spioventi
con base incurvata

Trave sospesa

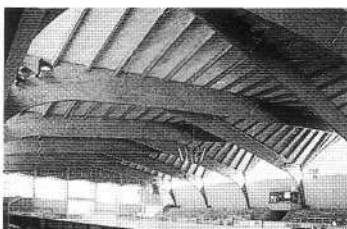
Trave con doppia curvatura

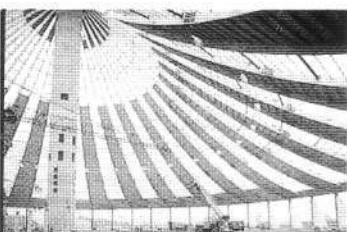
Forme strutturali di travi in legno lamellare

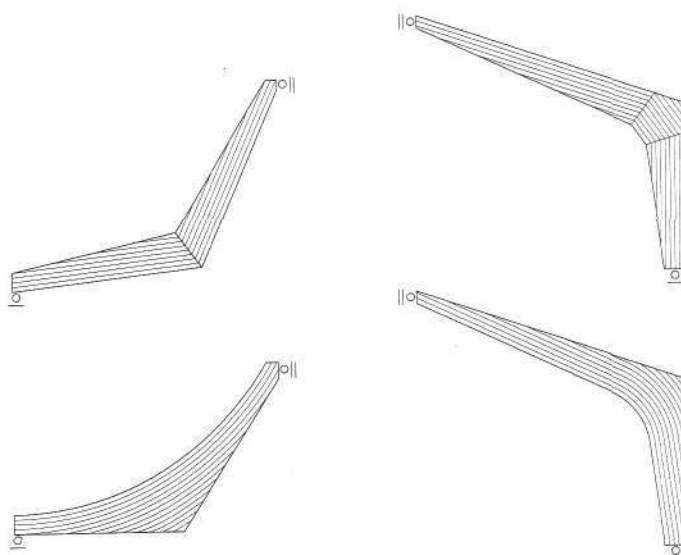
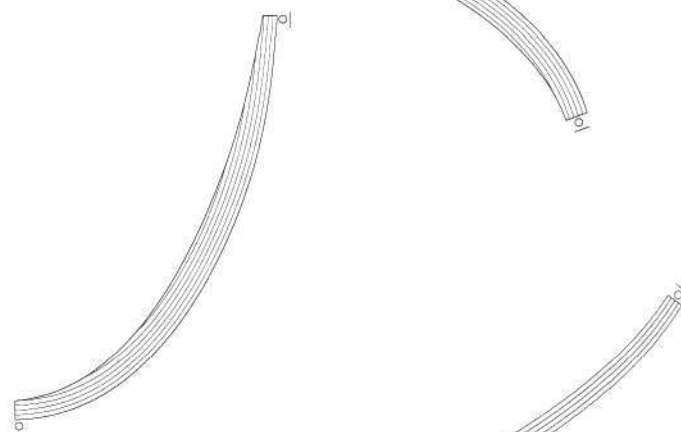
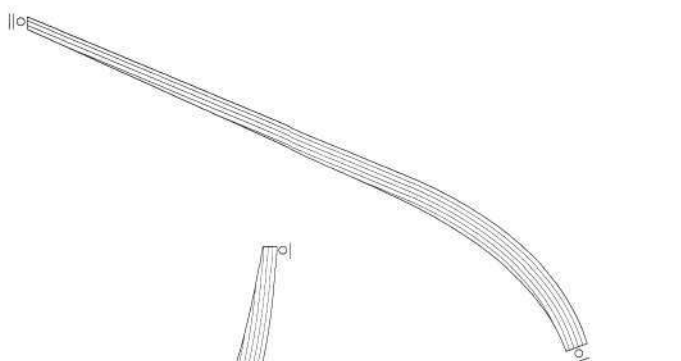
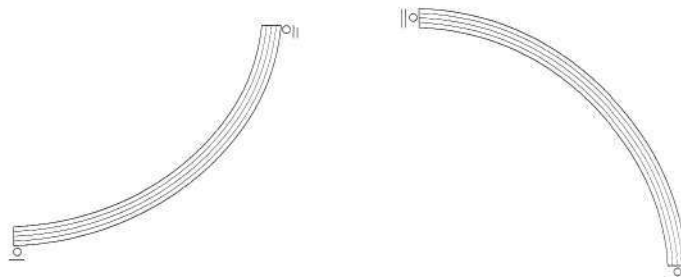
La possibilità di produrre travi in legno lamellare di diverse forme mediante l'incollaggio a pressione regolabile è un fattore economico fondamentale.

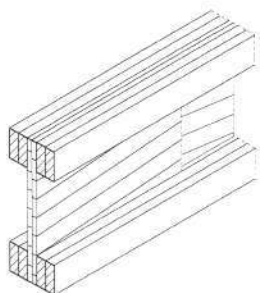
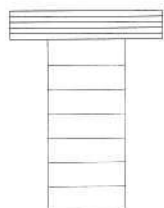
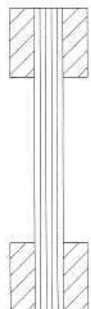
Forme strutturali diritte, piegate, rialzate e incurvate possono essere incollate con un ridotto aumento dei costi.

Le condizioni al margine relativamente ai raggi di curvatura e le diminuzioni del numero di incastri a coda di rondine sono regolate dalla norma DIN 1052. Da evitare le sovrapposizioni di sollecitazioni sui bordi inclinati, in particolare le sollecitazioni a trazione trasversale.

Sin dal momento della progettazione occorre tenere conto della misura per il trasporto. Le forme longitudinali delle travi possono venire composte in telai, le forme longitudinali di tiranti ad asta possono formare tiranti a tre cerniere, sistemi contìnui, telai e archi. In caso di luci particolarmente ampie si dovranno considerare le strutture sospese.

Travi dello scheletro come costoloni
portanti di una struttura corrugata

Travi In legno lamellare con curvatura
semplice come struttura portante primaria

Travi sospese, con disposizione radiale
e anelli di compressione formanti
un guscio sospeso

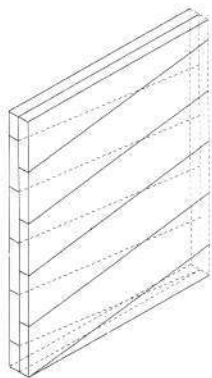
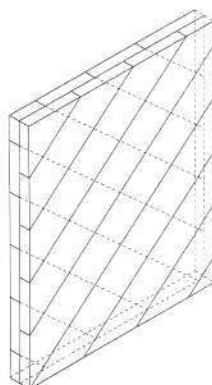
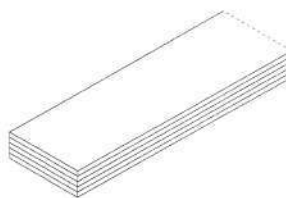
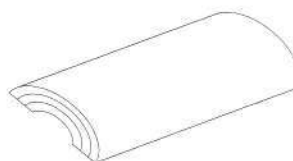
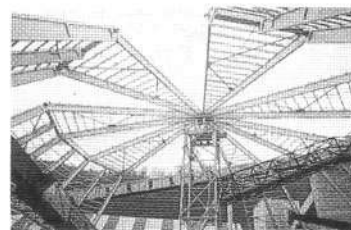
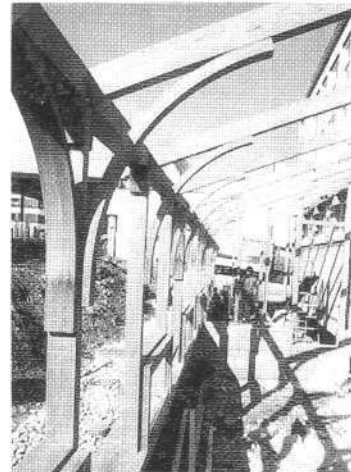
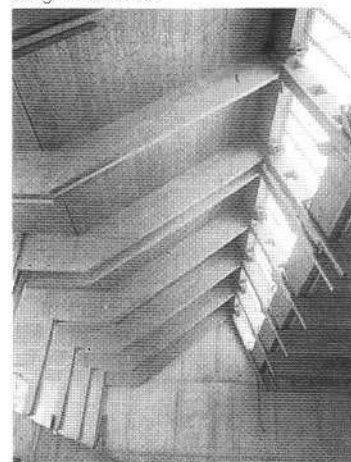
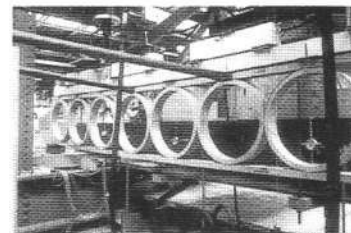
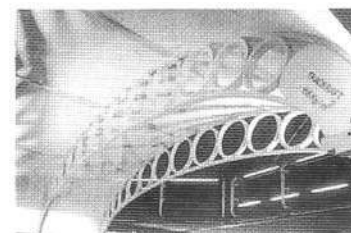
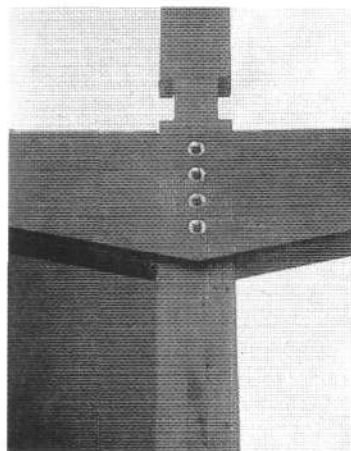
Elementi costruttivi per tiranti ad asta, telai, archi ecc.

Travi con nodi di telaio resistenti alla flessione

Travi a curvatura semplice

Forme di travi

Trave ad anima ruotata
Strati dell'anima spostati l'uno rispetto all'altro e inclinati di 3-7° verso il bordo inferiore

Trave in legno lamellare rinforzata con multistrato nel campo di pressione

Anima della trave formata da multistrato con traversi in legno squadrato o lamellare

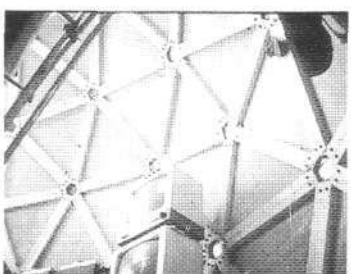
Legno a strati incrociati
Le anime composte da più strati incrociati e incollati vengono usate per travi profilate.
Questo tipo di costruzione era stato abbandonato a causa degli alti costi di fabbricazione a favore delle travi in legno lamellare. Tuttavia, in conseguenza dell'aumento del prezzo del legno e delle maggiori possibilità di produzione grazie ad appositi macchinari, attualmente le travi in legno multistrato sono tornate in auge. Non si è mai interrotto l'impiego di altri tipi di travi strutturali, come le travi ad anima ruotata, le travi Wolf e le travi Poppensieker. Calcolo, progettazione e fabbricazione dipendono dai requisiti di costruzione. I pannelli con incollaggio ad angolo retto vengono nuovamente prodotti grazie a un impiego intensivo di macchinari e trovano applicazione nel rivestimento di tetti e solai. Le sezioni utilizzate di preferenza sono quelle molto lunghe, prive di incastri a coda di rondine.

Multistrato nobilitato
Con l'incollaggio a strati di sfogliati di spessore fino a 3 mm si ottengono pannelli con alte resistenze. Gli sfogliati vengono incollati mantenendo la stessa direzione della fibratura. Gli strati sono semplicemente sovrapposti. Sono possibili alcune sovrapposizioni trasversali per una maggiore stabilità e rigidità trasversale.

I compensati di legno multistrato come il *Kerto* in Germania sono ammessi in campo edile e possono essere impiegati insieme con legno lamellare o squadrato, oppure come sezioni di listelli, travi o pannelli. L'economicità di questa tecnica è legata in modo particolare alle più alte sollecitazioni ammissibili e alla possibilità di produrre elementi lunghi fino a 23 m senza incastri a coda dì rondine, sotto forma di sezioni profilate composte. Le anime possono essere impiegate per travi e telai in maniera vantaggiosa ed economica, grazie alla maggior lunghezza della parte di collegamento.

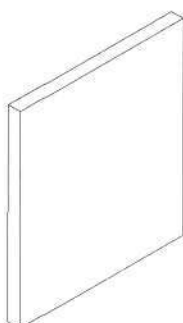
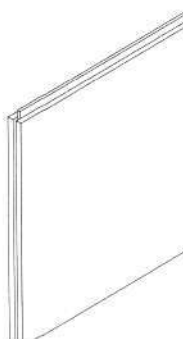
Vedi anche *Fondamenti,* p. 48 e segg.

Pannelli ad anima ruotata

Pannello a strati incrociati

Compensato di legno multistrato
(la forma e il tipo di legno possono essere adattati singolarmente al rispettivo carico)

Elemento sagomato in compensato

Cupola formata da travi ad anima ruotata di 30°

Contraffissi centinati in compensato di legno multistrato

Volta piegata formata da pannelli ad anima ruotata rinforzati

Travi ad anello in multistrato

Travi ricurve ad anello in multistrato

Connessione di una trave scatolare al montante

Trave scatolare usata come falso puntone

Volta piegata composta da travi ad anima

Cupola formata da travi ad anima

Pannelli pressati piani usati come elementi del tetto

Andamento orizzontale della fibratura degli strati di copertura del pannello di compensato, andamento verticale della fibratura dello strato mediano

Andamento della fibratura degli strati di copertura del pannello di compensato a 45°, andamento della fibratura dello strato centrale ruotato di 90°

Pannello pressato semplice

Pannello pressato con maschio e femmina

Pannello di compensato da costruzione

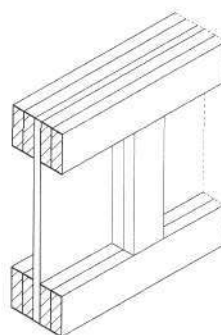
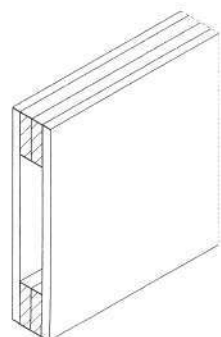
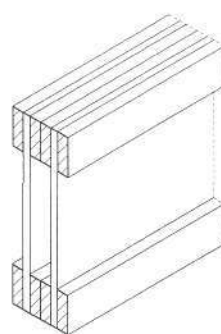
I pannelli di compensato vengono utilizzati da molto tempo nell'edilizia. Trovano vantaggiosamente impiego come elementi con maggior resistenza di taglio, ad esempio per solai, insieme con costoloni come pannelli nervati con funzioni di irrigidimento. I pannelli di legno compensato, insieme al legno squadrato, possono venire usati anche come elemento di costruzione per abitazioni. Per le sezioni trasversali ad anima e scatolari il costo per il materiale è ridotto, mentre i costi di manodopera sono elevati. Le sollecitazioni ammissibili e l'accettazione del preventivo sono regolate dalla norma DIN 1052.

Vedi anche *Fondamenti,* p. 48 e segg.

Pannelli pressati piani (pannelli di truciolato)

I pannelli di truciolato vengono spesso usati come elementi per tetto, pareti e coperture. Lo spessore può essere compreso fra l 5 e l 100 mm e nel caso di pannelli di particelle tubolari fino a 120 mm. i pannelli di particelle possono essere impiegati come materiale statico con durevole resistenza alla sollecitazione, se nella progettazione si tiene conto delle caratteristiche di scorrimento. Per l'impiego in cantiere, essi devono essere protetti dall'umidità. L'accettazione del preventivo avviene secondo le corrispondenti autorizzazioni e secondo la norma DIN 1052.

Vedi anche *Fondamenti,* p. 48 e segg.

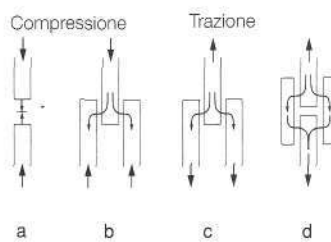
Travi di pannelli di legno compensato e pannelli di truciolato con ali in legno squadrato e montanti

Sezione a T inchiodata oppure incollata

Sezione scatolare inchiodata oppure incollata

Sezione scatolare rinforzata

Sezione scatolare doppia

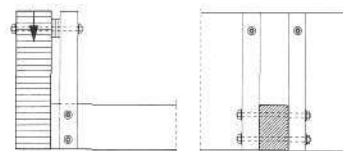
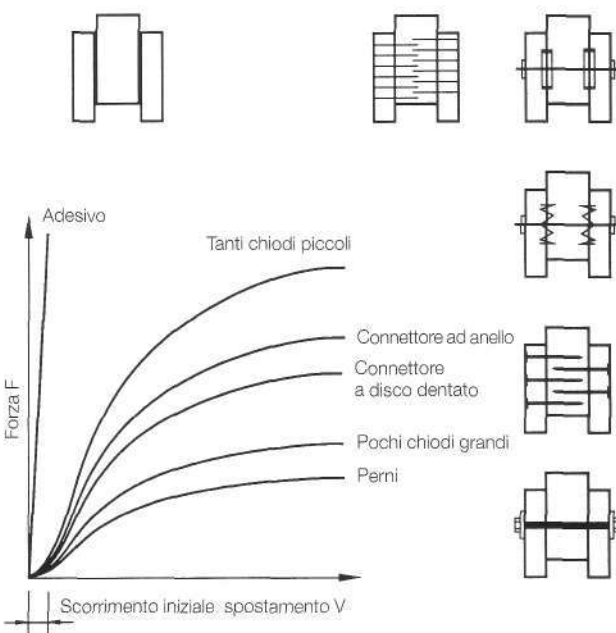
Materiali e tecniche di connessione

Criteri per lo sviluppo dei particolari
I fabbricati in legno sono composti da elementi strutturali prefabbricati in officina e montati in cantiere. Nella moderna costruzione in legno, gli elementi di connessione rappresentano una quota notevole dei costi, che possono essere ridotti razionalizzando la fabbricazione e la produzione in officina. Lo sforzo lavorativo in cantiere dovrebbe essere più basso possibile. I costi eccessivi di trasporto e montaggio possono essere evitati scegliendo opportunamente le dimensioni dei pezzi di montaggio.

Comportamento alle deformazioni
In edilizia si distingue tra elementi di connessione elastici, meccanici e di carpenteria. Essi possono trasmettere forze di trazione, di pressione o di taglio oppure momenti flettenti. Nel caso degli elementi di connessione elastici, all'atto della trasmissione della forza si verifica un certo scorrimento che viene determinato sulla base del modulo di spostamento. Da esso dipende in larga misura la rigidità delle strutture portanti e delle strutture composte. Pertanto, conformemente alla norma DIN 1052, bisogna considerarne il comportamento alla deformazione degli elementi di connessione, in caso di inflessione e di strutture composte. Gli indebolimenti della struttura possono essere determinanti per il dimensionamento delle aste e per stabilire la forza da trasmettere. Non sì devono combinare elementi di connessione che presentino elasticità diversa, come giunti incollati e meccanici. Nel progettare i profili della struttura, sarà di importanza fondamentale l'ingombro di superficie dell'elemento di connessione. L'elasticità delle giunzioni dà origine, d'altro canto, a un comportamento duttile alle rotture in cui alla rottura fragile del legno è preferibile avere un preavviso di cedimento. In condizioni limite, le possibilità di spostamento del carico collegate alle strutture statiche non determinate aumentano notevolmente le riserve di sicurezza. Pertanto, ai fini del dimensionamento, non sono più determinanti i carichi di rottura ma le deformazioni. Il giunto ottimale dovrebbe essere morbido, in modo da raggiungere la deformazione consentita con il carico di esercizio, presentando, tuttavia, sicurezze elevate rispetto alla rottura del legno.
Sono consigliabili i giunti a pressione di contatto con biette in legno duro, legno compensato o legno multistrato, per impedire che la struttura si indebolisca. Dovrebbero essere evitate il più possibile le eccentricità, che causano grandi sollecitazioni di coppia e di taglio. Nell'esecuzione dei nodi, l'umidità del legno dovrebbe essere limitata al minimo. Il legno troppo bagnato porta a fessurazioni incontrollabili nella zona di connessione provocando così una riduzione della resistenza e un aumento dell'elasticità dei punti nodali. In presenza di fessurazioni continue di elementi di connessione posti l'uno dietro l'altro, le sezioni di taglio si riducono. Nel caso di più elementi di connessione disposti l'uno dietro l'altro, la resistenza di calcolo dovrà essere ridotta in base alla norma DIN 1052. Bisognerà quindi tendere a nodi con superfici di connessione corte.
Nel progettare i nodi di connessione bisogna cercare soprattutto di evitare le eccentricità. Le linee di azione delle forze presenti, ossia degli assi delle aste, dovrebbero sempre intersecarsi in un punto. Nel caso di carichi marginali trasversali alla direzione della fibratura oppure in seguito a ritiri vengono prodotte sollecitazioni di trazione trasversali indesiderate. Le cerniere dovranno essere conformate in base al modello statico, in modo da evitare l'insorgenza di sollecitazioni secondarie dovute a incastri indesiderati conseguenti alla torsione delle aste. Vanno pianificate le distanze tra i margini di elementi strutturali contigui.

Trasmissione delle forze
Nella costruzione in legno, in linea di principio le forze di pressione vengono trasmesse per contatto.
Nel collegare le forze di trazione è necessario sovrapporre gli elementi strutturali. Ai fine di evitare eccentricità nelle connessioni con taglio unico, la trasmissione può avvenire anche attraverso elementi supplementari; in tal caso, però, la forza da trasmettere deve essere collegata due volte.
Per evitare eccentricità nella progettazione delle connessioni, le linee di azione delle forze presenti dovrebbero intersecarsi in un punto. Gli elementi di connessione andranno disposti in modo che il loro baricentro coincida con l'asse dell'asta. Se ciò non avviene, potrebbero verificarsi sollecitazioni supplementari di notevole entità. Generalmente, nel caso di costruzioni in legno libere, le sezioni dei tamponamenti non vengono determinate in base alia resistenza, ma in base alla capacità delle connessioni prescelte.
L'economicità di una connessione a nodo si riflette direttamente sul consumo di materiale dell'elemento di connessione e indirettamente sul consumo di legno delle aste da collegare.

Principi della trasmissione della forza
a Contatto
b Trasmissione dello sorzo di taglio nel caso di forze di compressione
c Sovrapposizione semplice
d Sovrapposizione doppia

Disposizione degli elementi di connessione
eccentrica concentrica

Eccentricità
a) della geometria strutturale
b) dell'elemento di connessione

Applicazione del carico nel corrente superiore

Comportamento alla deformazione di elementi di connessione diversi

Dall'elemento di connessione al particolare

Anche se è già stato scelto un determinato sistema di connessione, bisogna ancora considerare altri fattori.

- Scelta del diametro degli elementi di connessione a forma di aste.
- Scelta della qualità dell'acciaio usato per gli elementi di connessione.
- Eventuale aumento dell'effetto di profondità degli elementi di connessione mediante una connessione a più strati.
- Determinazione delle sezioni del legno e delle lunghezze di connessione.
- Per una minimizzazione del materiale vanno considerati due ambiti:
  - ambito dell'elemento strutturale da collegare, possibilità di sfruttare notevolmente la struttura indebolita senza sovradimensionare il legno, ossia la forza dell'asta consentita corrisponde alla resistenza consentita degli elementi di connessione;
  - ambito dei punti nodali, minimo dispendio di materiale per elementi nodali e di connessione.
- Determinazione delle sezioni del legno.

La scelta della larghezza del tamponamento dipende in primo luogo dal tipo di trave scelto con elementi nodali esterni o interni, con sezioni a una o più parti.

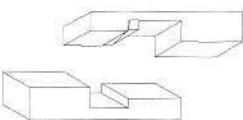
Nel caso di pannelli di giunzione esterni, la larghezza del tamponamento verrà determinata univocamente in base a quella del corrente.

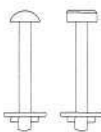
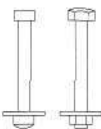
Nel caso di pannelli di giunzione interni e intagliati o nel caso di correnti in più parti vi è il vantaggio che la larghezza del tamponamento non deve necessariamente coincidere con quella del corrente. Vi è quindi la possibilità di differenziare i tamponamenti dai correnti. In questo caso, le aste di compressione possono fornire alcuni punti di riferimento per una scelta oculata della larghezza dei tamponamenti, in quanto bisogna tendere a un uso economico del materiale di sezione quadrata o leggermente diversa.

Fissaggio dell'appoggio con caviglie

Aste multiple su blocco di legno duro. Fissaggio in posizione con caviglie

Tipi di caviglie

Tassello di legno

Tassello con cunei

Chiodo fucinato e graffa

Viti con rondella e coppiglia

Viti con rondella e dado

Connessioni ed elementi di connessione di tipo artigianale

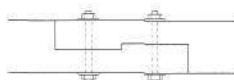
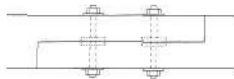
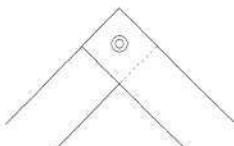
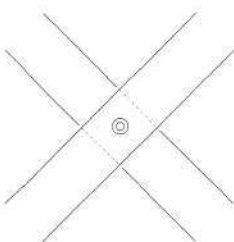
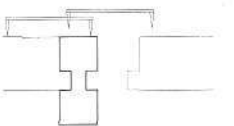
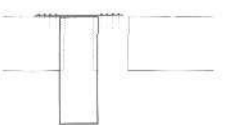
Giunzioni a mezzo legno

Le connessioni di iegno eseguite a livello di carpenteria (ad esempio, giunzioni a mezzo legno, incastri), grazie ai moderni macchinari per la lavorazione del legno, sono realizzabili con precisione e a costo contenuto. La trasmissione delle forze avviene principalmente tramite giunti a contatto, che richiedono un'elevata precisione e per i quali il legno deve presentare un'umidità ridotta. Lo svantaggio delle giunzioni di carpenteria consiste nell'elevato grado di indebolimento dei legno e nel fatto che subentrano rapporti di tensione non sempre chiari.

Attraverso grandi sollecitazioni di taglio ed eccentricità possono venire trasmessi mediante calcolo soltanto carichi relativamente ridotti.

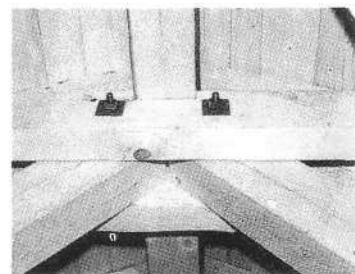
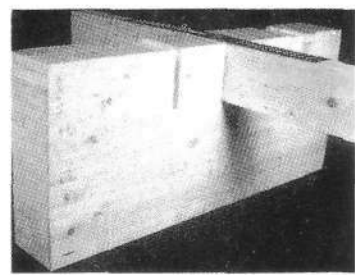
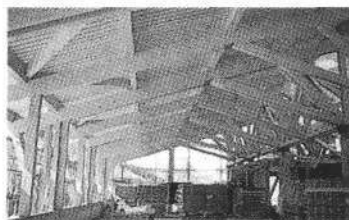
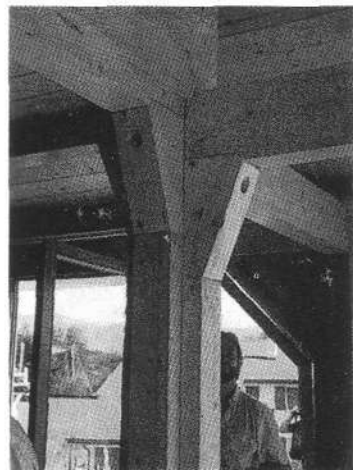
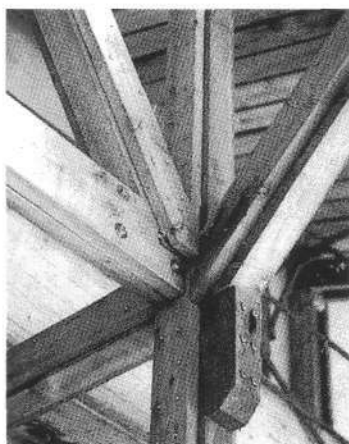
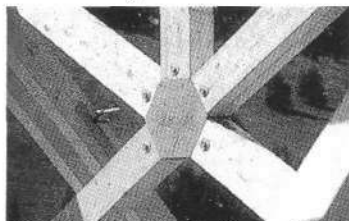
I vari tipi di giunzioni a mezzo legno rappresentano innanzitutto un tipo di connessione costruttiva con elevati indebolimenti di sezione e portata ridotta. Essi vengono tuttavia utilizzati nella costruzione di tetti e di ossature in legno. Nelle costruzioni degli edifici storici lasciate a vista e nelle ristrutturazioni di tali edifici viene ancora impiegata la tecnica di collegamento tradizionale.

Gli appoggi di travi su muratura, calcestruzzo ecc. vanno sempre eseguiti con strati di separazione, per impedire che l'estremità della trave assorba umidità in eccesso. L'appoggio di travi su travi secondarie in cavità fresate, mortise oppure lamiere chiodate è di facile realizzazione se si ricorre a coprigiunti di trazione (per effetto continuo). In questo modo viene evitata la pressione dei bordi, aumentando sensibilmente la durata della resistenza al fuoco. Per mantenere la pressione trasversale ammissibile, gli appoggi delle travi su montanti vanno ampliati semplicemente con pezzi intermedi in legno duro o con pannelli di legno multistrato nobilitato o incollato.

Giunzione a mezzo legno chiodata

Giunzione a mezzo legno con bulloni di serraggio

Giunzione a mezzo legno incavicchiata

Giunzione a mezzo legno sul colmo

Giunzione a mezzo legno incrociata

Incastro tradizionale con graffe per protezione dalla trazione

Cavità fresata con coprigiunto inchiodato

Contraffisso e struttura a ventaglio disposti nello spazio

Costruzione storica con struttura a traliccio e capriata tripla

Capriata doppia a saettoni

Appoggio di una trave di colmo

Appoggio di trave principale, trave secondaria nella cavità

Connessione a incastro con nuclei in legno duro

Appoggio allargato di un montante a croce

Nodi di capriata a contraffissi con nucleo in legno duro

Nodi con nucleo di compensato

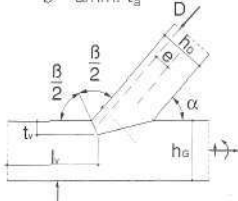
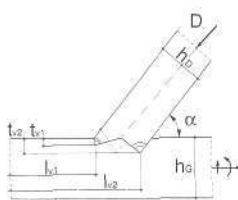
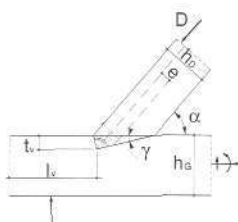
Parte sagomata compressa di un nodo di telaio

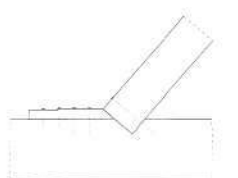
Esempi di incastri

Approssimazione

$$t_v = \frac{D}{0{,}70\, b}$$

lunghezza necessaria del legno anteposto

$$l_v = \frac{D}{b} \cdot \frac{\cos \alpha}{\text{amm. } \tau_a}$$

Incastro semplice

Incastro a doppio dente

Incastro su bietta

Incastro con bietta di legno duro

Incastro con bietta posta esternamente

Incastri

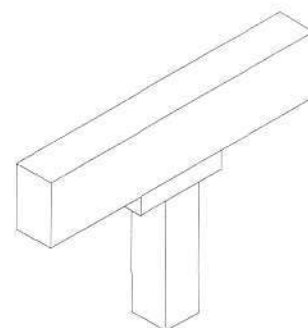
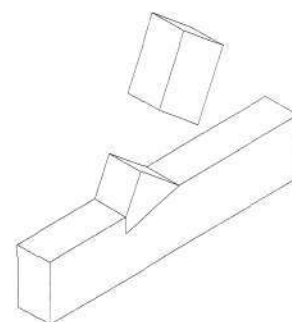
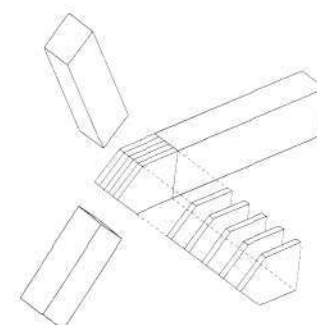
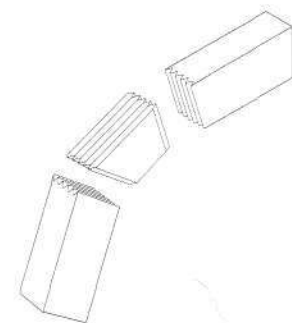
Per le connessioni a sola pressione oggi il metodo più utilizzato è quello dell'incastro, che consente di ridurre l'impiego di parti in acciaio. Gli incastri obliqui si distinguono in incastri a margine semplice, a doppio dente e a doppia battuta.

In particolare, le travi a sella di legno duro possono trasmettere forze relativamente elevate. Tuttavìa, la precisione della lavorazione è la premessa fondamentale per consentire una trasmissione perfetta di forze e senza eccessive deformazioni. Gli incastri possono essere eseguiti anche su grande scala utilizzando il legno lamellare. Essi vengono fissati in posizione mediante viti o bulloni, tenendo conto anche in questo caso dell'adeguata umidità del legno, che è molto importante per il comportamento alla deformazione.

Appoggi a contatto diretto

Per poter sfruttare al meglio le sezioni di legno devono essere previsti elementi nodali supplementari. Generalmente, questi elementi intermedi sono realizzati in materiali più pregiati delle stesse aste: ad esempio acciaio, legno duro o derivati dal legno nobilitati, in quanto devono assorbire la trasmissione dì forze tra le aste. Le sezioni delle aste dì compressione possono essere impiegate completamente quando la superficie di contatto è perpendicolare alla fibratura. In caso di elementi obliqui, le tensioni di pressione devono essere ridotte fortemente. Gli elementi In legno duro o multistrato si possono disporre in direzione corrispondente a quella della fibratura, in modo tale che la superficie di compressione delle aste sia parallela alla fibratura.

Per ottenere superfici di contatto particolarmente precise viene utilizzato il metodo della colata a dispersione dei nodi con cemento o resina sintetica ad alta resistenza e priva di contrazione. In questo modo, anche se l'elemento intermedio non è realizzato in acciaio possono venire eseguiti nodi particolarmente ignifughi.

Appoggi a contatto diretto

Ingrandimento dell'appoggio con elemento in legno duro

Parte sagomata con incastro semplice

Nodo che lavora a sola pressione con nucleo in legno lamellare

Nodo di telaio con incastro a coda di rondine e nucleo di compensato

Mezzi di connessione moderni

Negli ultimi decenni sono state sviluppate connessioni chiodate creando nuovi tipi di chiodi e collegandoli con elementi in lamiera per ottenere nodi dì connessione affidabili per gli elementi strutturali portanti. Oltre ai chiodi a gambo liscio con sezioni e teste diverse, vi sono chiodi filettati e scanalati con elevata resistenza all'estrazione.

Lo sviluppo di pistole per chiodi ad aria compressa e di trapani per chiodature preforate rende economicamente conveniente l'uso dei chiodi anche per connessioni più grandi con un numero elevato di chiodi.

Le connessioni chiodate preforate evitano non soltanto fenditure del legno, ma sono particolarmente consigliabili in caso di legno ad alta densità; possono venire sottoposte a maggiori sollecitazioni, a patto che vengano rispettati gli interassi tra i chiodi e si decida con precisione il modello di chiodatura nella fase di progettazione esecutiva.

Disposizione dei chiodi

Chiodatura a taglio in una sezione

Chiodatura a taglio in due sezioni

Chiodatura a taglio in quattro sezioni

Disposizione sfalsata dei chiodi

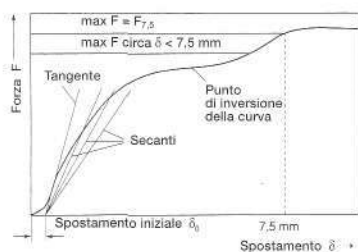
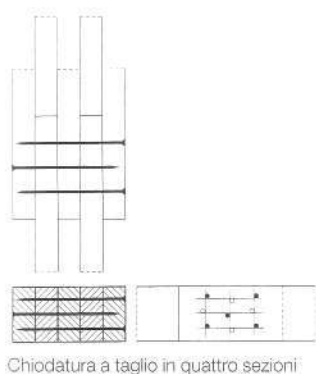
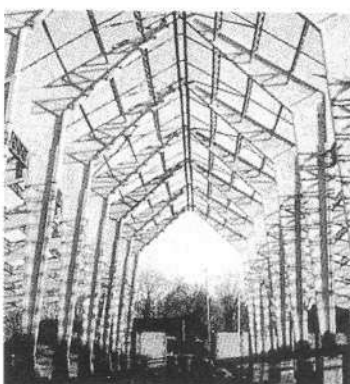
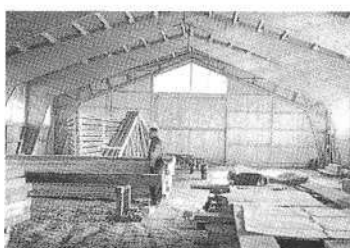
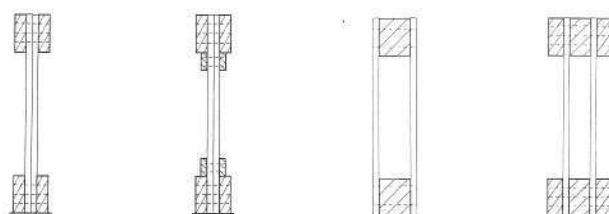
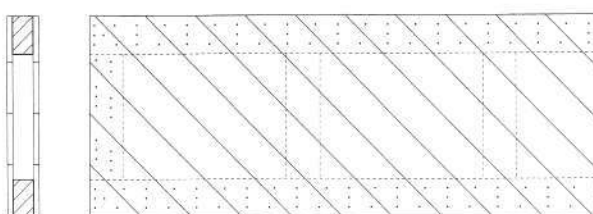
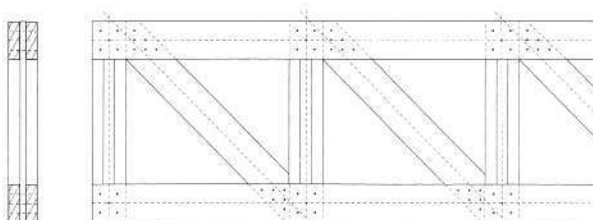
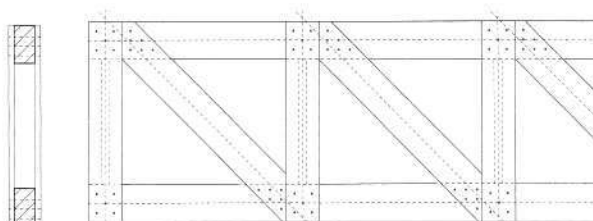



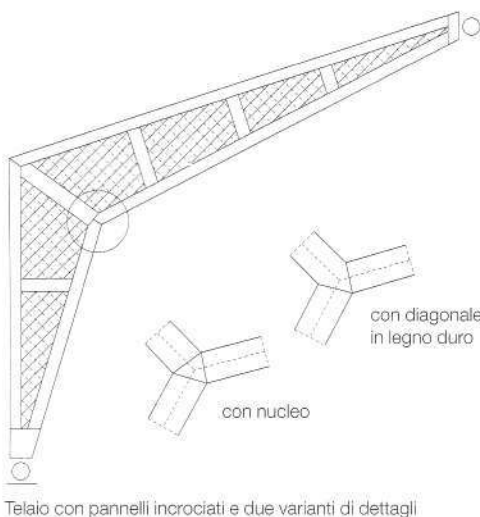
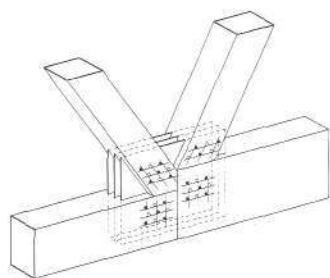
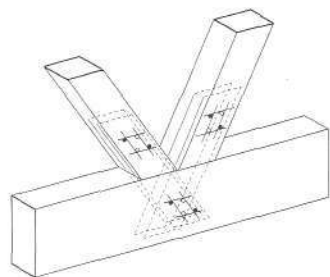
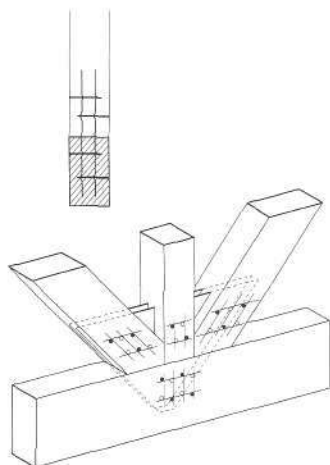
Grafico dello spostamento delle forze
di una connessione chiodata (schematico)

Grazie allo sviluppo delle connessioni chiodate è diventato possibile progettare anche sistemi portanti composti da tavole chiodate. Ad esempio, oggi per le piccole luci vengono utilizzate capriatelle chiodate, mentre nelle costruzioni agricole si ricorre spesso a travi o telai composti da tavole chiodate. Le luci di maggiori dimensioni vengono invece realizzate utilizzando le nuove tecniche di chiodatura con la preforatura delle tavole di maggiore spessore e con sezioni complesse a più tagli, le quali rappresentano un'alternativa economicamente interessante per i paesi in via di sviluppo.
Se il fattore estetico presenta esigenze maggiori, occorrerà prestare attenzione alla forma della testa del chiodo e a una disposizione di aspetto gradevole.
Le viti per legno si comportano al taglio come le connessioni chiodate, ma possono venir sollecitate maggiormente all'estrazione e la loro testa offre un'immagine esteticamente migliore.

Metodo di costruzione a tavole chiodate

Costruzione reticolare chiodata con diagonali di trazione

Costruzione reticolare con connessioni chiodate a taglio in due sezioni

Trave scatolare con struttura chiodata

Forme di sezioni trasversali di travi composte con anime a pannelli

Telaio con pannelli incrociati e due varianti di dettagli

Esempi di raccordi e nodi tipici

Costruzione di tipo Greim
Lamiera di spessore < 2 mm, intagliata, senza preforature per chiodi

Costruzione di tipo VB

Lamiera di acciaio inserita di spessore d > 2 mm, fori dei chiodi eseguiti contemporaneamente ne! legno e nella lamiera

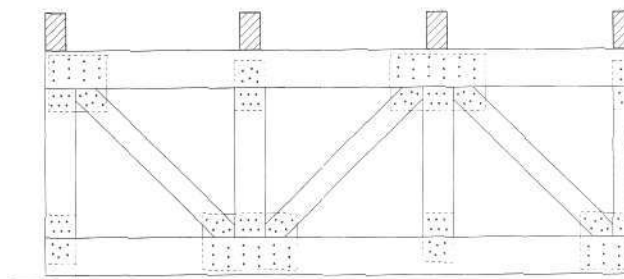
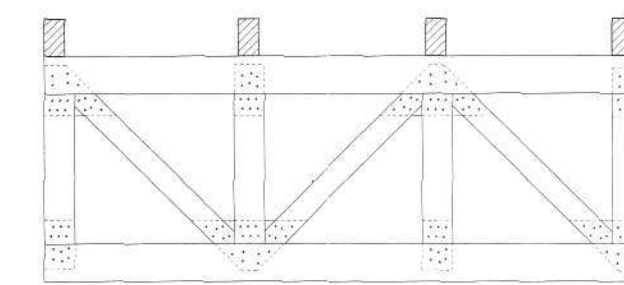
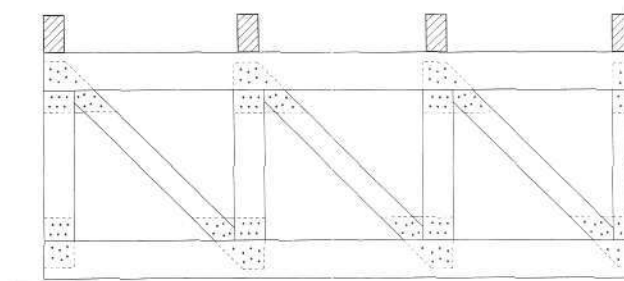
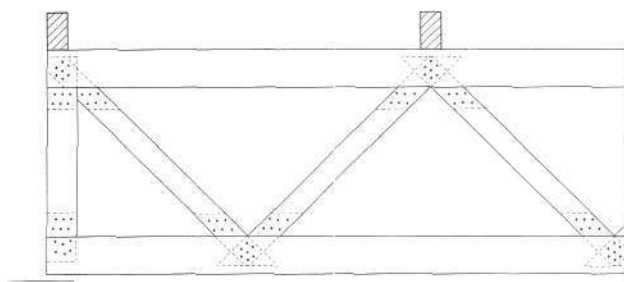
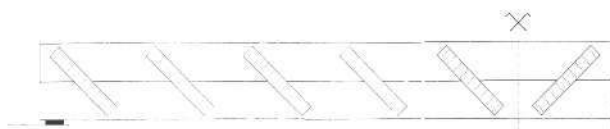
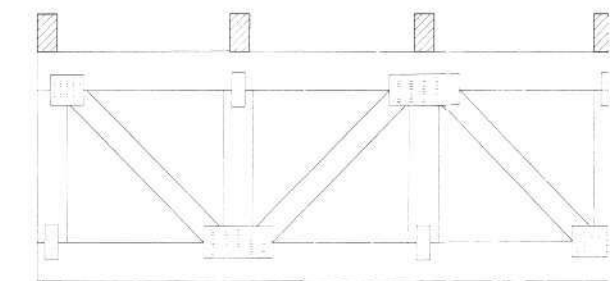
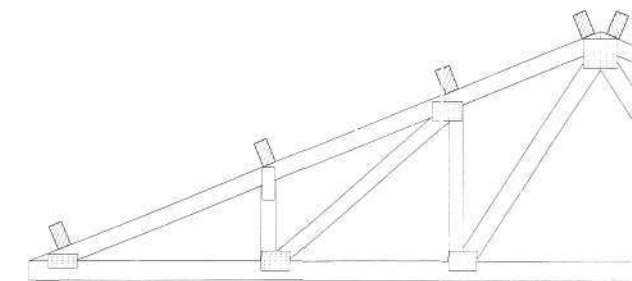
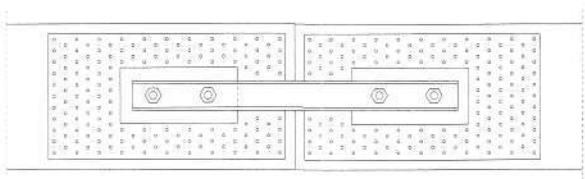
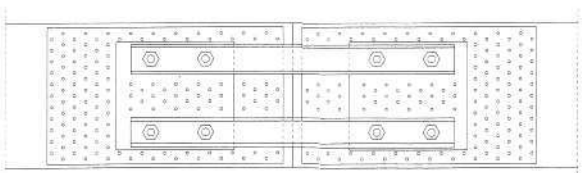
Metodo di costruzione con lamiere chiodate

Tecniche relative all'uso di lamiere intagliate e chiodate

Un modo per ottenere connessioni economiche a tagli multipli consiste nell'inserire lamiere spesse da 1,0 a 2,0 mm in intagli segati e inchiodarle senza preforatura.

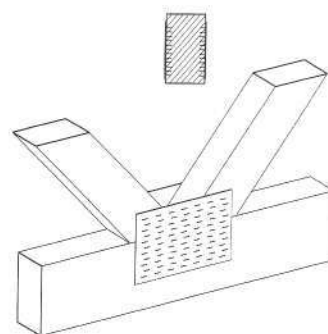
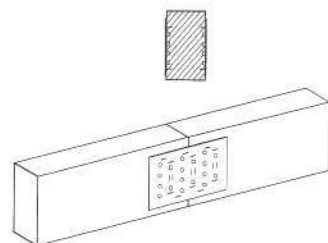
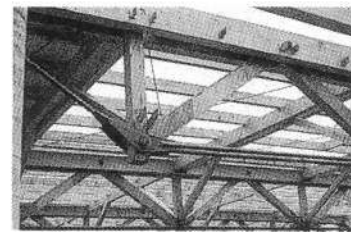
Per le lamiere sottoposte a compressione va prestata attenzione al pericolo di formazione di ingobbature. Le autorizzazioni rilasciate dall'Ispettorato dei lavori edili in Germania determinano le sollecitazioni ammissibili, prescrivendo una particolare accuratezza nell'esecuzione, poiché è indispensabile la massima precisione di accoppiamento dell'intaglio, soprattutto nel punti di connessione. Tra i sistemi di costruzione ammessi vi sono il tipo Greim e il tipo VB.

Nodo reticolare in costruzione di tipo Greim

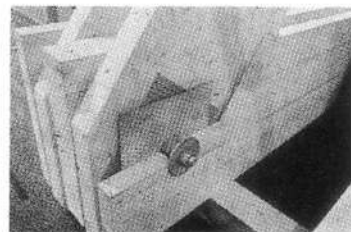
Utilizzando lamiere di acciaio di spessore superiore a 2 mm, esse devono essere preforate. La foratura della lamiera di acciaio e del legno viene effettuata in un unico ciclo di lavoro, cosicché i chiodi possano venire inseriti perfettamente attraverso una o più lamiere. Il diametro del foro deve essere uguale a quello del chiodo. Anche con questa tecnica occorre prestare attenzione al pericolo di ingobbatura della lamiera e a una buona precisione di accoppiamento tra legno e lamiera. Per le connessioni chiodate preforate l'interasse tra i chiodi deve essere ridotto per consentire di mantenere ai minimo la dimensione della lamiera. La massima precisione di interasse tra ì chiodi può essere ottenuta mediante apposite dime di foratura.

Trave reticolare con lamiere nodali inserite, con perforatura per chiodi del legno, lamiera inchiodata

Travi reticolari con pilastri, diagonali di compressione e trazione e raccordi con il metodo Greim

Travi reticolari realizzate con il metodo Greim mediante pilastri di compressione e diagonali di trazione

Travi reticolari realizzate con il metodo VB

Trave composta con piastre chiodate stampate

Travi reticolari parallele al corrente con piastre chiodate stampate

Connessioni triangolari, nodi reticolari con piastre chiodate stampate

Piastre chiodate
Le lamiere chiodate stampate che vengono realizzate con apposite presse consentono la fabbricazione industriale di connettori a piastra chiodata, riducendo sensibilmente il lavoro necessario rispetto ai metodi del passato. In questo modo si possono eseguire connessioni resistenti alla trazione e alla compressione, con legno a sezione semplice. Le piastre chiodate sono realizzate in lamiera d'acciaio spessa da 1 a 2 mm. I particolari tranciati a forma di chiodo o di graffa vengono inseriti nella superficie del legno mediante pressione. Non è necessario coprire la parte di legno nei punti nodali; così si risparmia sulla quantità di legno impiegata. La forza trasmissibile riferita alla superficie di accoppiamento è superiore alle usuali connessioni chiodate grazie al gran numero di incastri a coda di rondine. La costruzione di piastre chiodate, ad esempio BAT-Multin, BF, Gang-Nail, Hydron, TTS Twinaplate ecc., è soggetta in Germania ad autorizzazione dell'Ispettorato dei lavori edili.

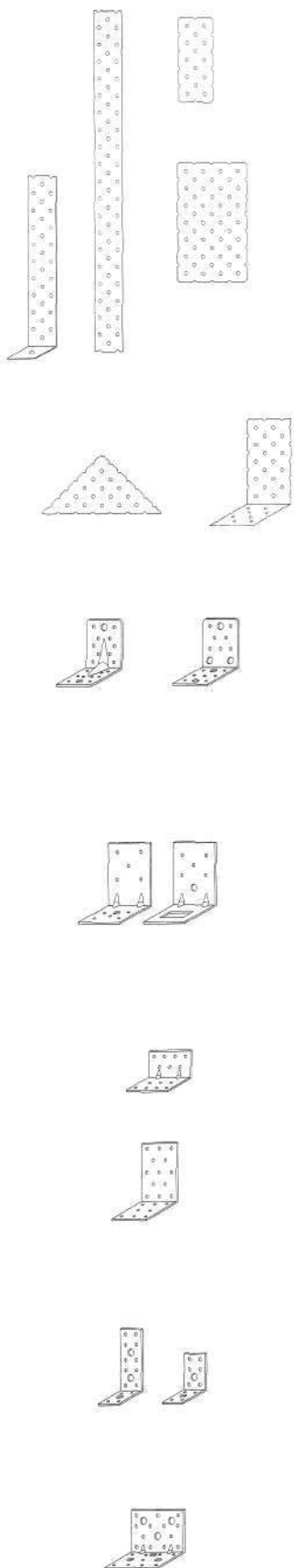
Piastre di acciaio chiodate con perni di cerniera
Nelle travi reticolari con carichi superiori a 300 kN si consiglia l'uso di correnti e diagonali composte da più parti, che vengono unite con lamiere forate spesse 4-6 mm, inchiodate in officina, e collegate sul cantiere con un perno di cerniera. Poiché la trasmissione della forza si concentra su un asse, in questo modo si ottengono cerniere ideali. Con questo tipo di connessione le parti di acciaio non restano visibili e sono protette dal fuoco. Le chiodature si possono eseguire in officina senza un uso eccessivo di macchinari. In questo tipo di connessione la trasmissione delle forze del legno avviene attraverso i chiodi della piastra di acciaio; da lì le forze vengono convogliate tramite i rinforzi marginali saldati all'asse della cerniera, che a sua volta cede le forze all'altra piastra d'acciaio mediante sollecitazione di taglio. Il metodo della preforatura riduce gli interassi, rimpicciolendo così le superfici di connessione.

Piastra di tipo Gang-Nail

Piastra di tipo Twinaplate

Piastra di tipo Gang-Nail applicata

Piastra di tipo Twinaplate applicata

Piastra forata inchiodata e fissata con perni di cerniera

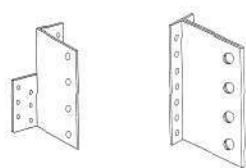
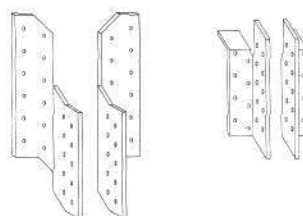
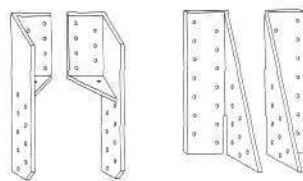
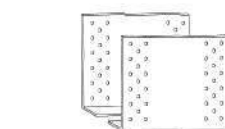
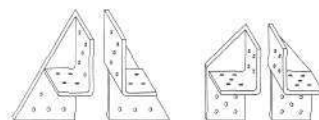
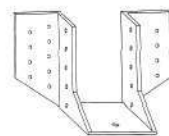
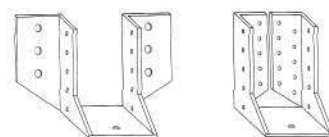
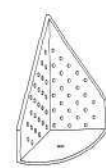
Giunto a trazione

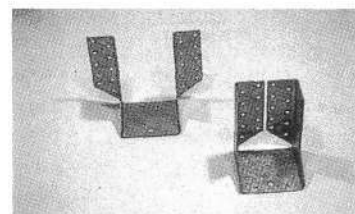
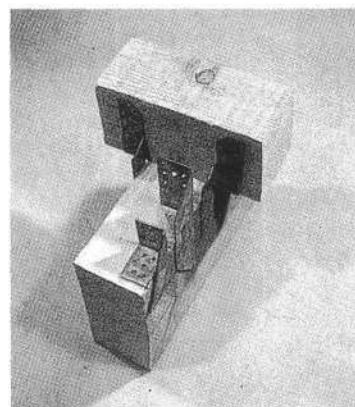
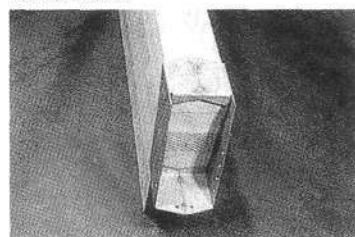
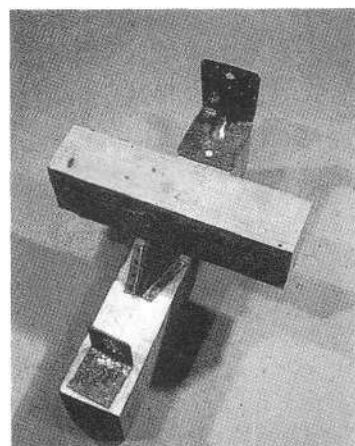
Giunto a flessione

Piastra forata posta all'interno e fissata con perno di cerniera

Lamiere forate e lamiere angolari

Lamiere forate e parti sagomate in lamiera di acciaio - inchiodate

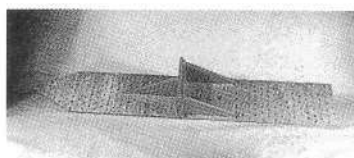
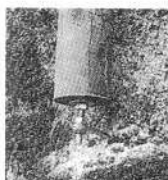
Le connessioni ad asta, gli appoggi e i fissaggi degli appoggi vengono realizzati in modo semplice tramite inchiodatura di legno e lamiera di acciaio. Le parti sagomate e le lamiere forate vengono formate a freddo utilizzando lamiera di acciaio spessa da 2 a 4 mm, zincata o galvanizzata, oppure acciaio legato. Poi vengono perforate e inchiodate con chiodi filettati o scanalati mediante pistole ad aria compressa oppure manualmente. Il legno utilizzato in questo procedimento deve essere stagionato, anche per evitare l'ingobbatura delle parti in lamiera.

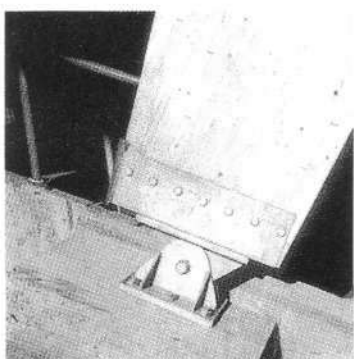
Negli ultimi anni le molteplici possibilità d'impiego della lamiera forata sotto forma di strisce, angoli, squadre di appoggio, staffe dì appoggio, ancoraggi per travi di colmo e ancoraggi incernierati hanno fatto aumentare notevolmente la percentuale di pezzi sagomati in lamiera d'acciaio.

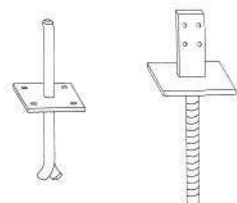
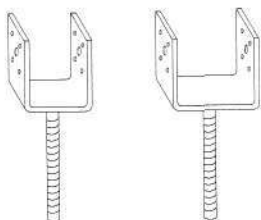
La portata di staffe di appoggio, angoli ecc. è anch'essa regolamentata in Germania da autorizzazioni rilasciate dall'Ispettorato dei lavori edili ed è indicata sulle relative documentazioni di fabbrica ovvero sui certificati dì autorizzazione, ad esempio Barth, Bira, BMF, GH e così via. Le figure sulla sinistra presentano angoli con irrigidimento, angoli semplicemente inchiodabili e angoli di raccordo tra legno e legno, così come tra legno e muratura per il supporto di travetti a travi principali, oppure tra legno e strutture in lamiera sagomata.

Raccordi per travi

Ancoraggi per travi di colmo

Staffe di fissaggio

Fissaggio a gomito

Connettore multiuso a triangolo

Pezzi sagomati in lamiera industriale

Staffe di fissaggio

Ancoraggi per correnti di travi di colmo a carico ridotto

Cerniera Gerber

Ancoraggio per correnti di travi di colmo a carico importante

Fissaggi a triangolo

Nodi in acciaio saldati a stella

Parte saldata in acciaio per connessioni
Diagonale di compressione –
corrente inferiore
oppure puntone – montante

Base di montante fissata lateralmente alla muratura, regolabile in altezza

Montante incavicchiato su zoccolo di calcestruzzo

Cerniera di appoggio di telaio o arco in legno lamellare

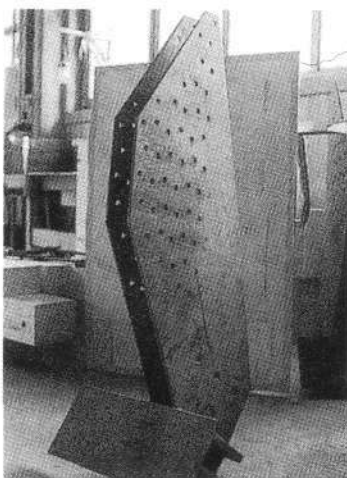
Basi di montante di produzione industriale

annegate nel calcestruzzo

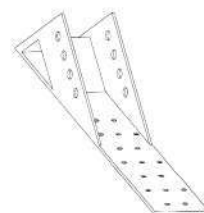
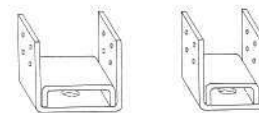
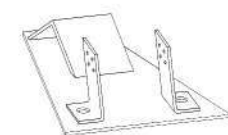
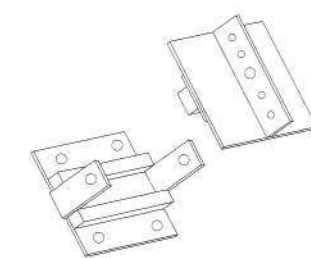
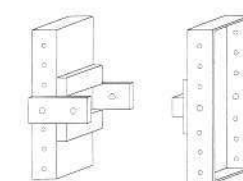
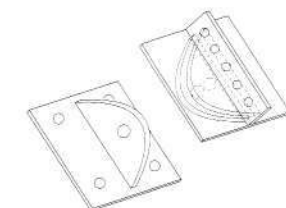
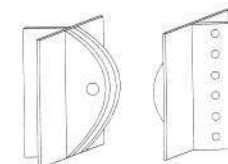
fissate con tasselli

regolabili in altezza

Elementi dì acciaio saldati

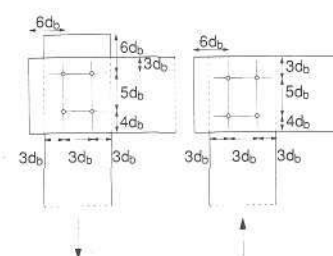
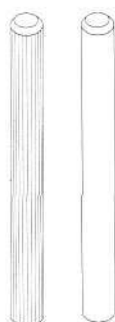
Gli elementi saldati chiodati oppure collegati con spine, così come gli elementi in acciaio fissati con chiodi sotto forma di appoggi o cerniere con spessore da 3 a 10 mm, conformemente a DIN 1050 e DIN 18.800, possono essere fabbricati esclusivamente da ditte che possiedono l'apposita licenza di abilitazione per la saldatura. Per evitare le tensioni ai bordi durante la fabbricazione e il montaggio delle parti occorre attenersi scrupoiosamente ai progetti esecutivi. In caso di esigenze di protezione preventiva antincendio, relative alla durata di resistenza, tutte le parti in acciaio vanno protette dall'attacco diretto de! fuoco coprendole con legno o con materiali minerali. In casi speciali è sufficiente applicare vernice ignifuga.

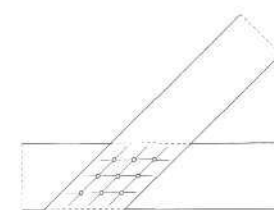
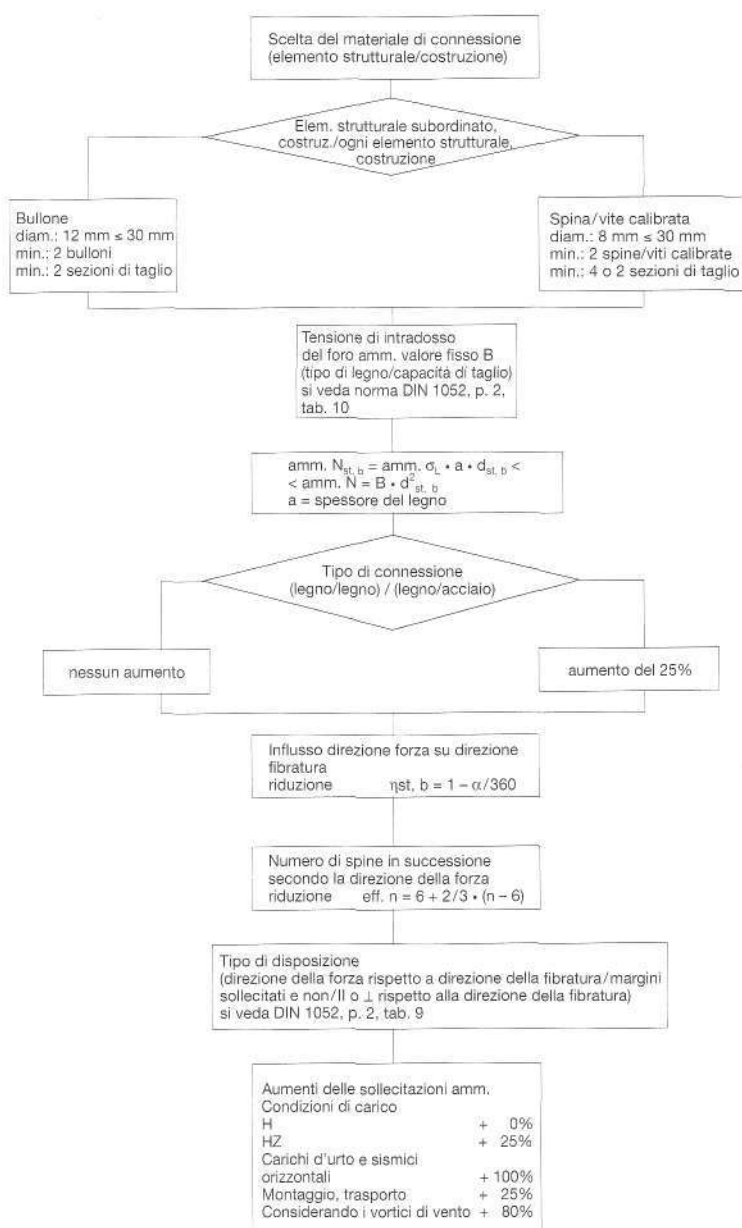
La protezione dalla corrosione delle connessioni portanti in acciaio e dei materiati di connessione nelle costruzioni in legno avviene secondo la norma DIN 1052, parte 2, la quale distingue tra corrosione ridotta, media e particolarmente forte. Nelle piscine, nei solarium, nelle fabbriche di concimi o nei depositi di sale va prestata particolare attenzione alla protezione dalla corrosione, effettuando all'occorrenza un'analisi del clima ambientale e dell'aria. In queste situazioni è sconsigliato l'uso di zincature galvaniche, a immersione e a spruzzo. In casi particolari è possibile ricorrere all'uso di acciaio inossidabile o di leghe speciali.

Parte in acciaio saldata per connessione di trazione

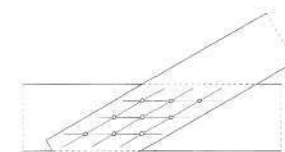
Cerniere di appoggio e cerniere di colmo

Piastra chiodata esterna

Sostegno per puntone

Cerniere per base e colmo di nodi di struttura di sostegno sottoposta a carichi elevati

Spine, viti calibrate, bulloni

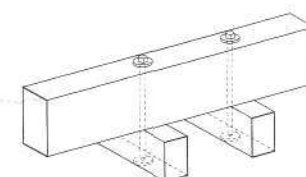
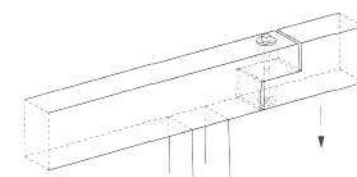
Le spine sono elementi di collegamento cilindrici che vengono inseriti in fori appositamente predisposti, ottenendo elevati valori di connessione e di resistenza, data l'assenza di gioco in seguito a oscillazioni o a preforatura di diametro eccessivo. Recenti studi hanno dimostrato che è possibile rinunciare allo sfalsamento della spina rispetto alla linea di rottura (DIN 1052, parte 2, E 5.7). La connessione a bullone, diversamente da quella a spina, viene eseguita praticando un foro di diametro maggiore. Questo tipo di connessione, tuttavia, può essere utilizzato soltanto per il fissaggio in posizione oppure in caso di sollecitazioni fortemente ridotte rispetto a quelle a cui sono soggette le spine, e unicamente quando il comportamento alla deformazione ha un influsso minimo sulla deformazione complessiva della struttura portante.

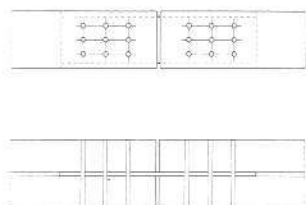
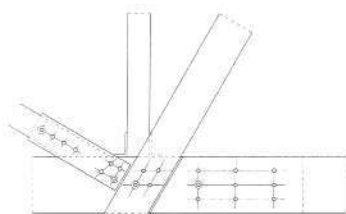
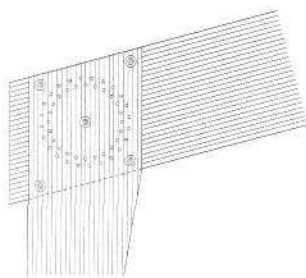
Conformazione della spina

Interassi minimi di spine e viti calibrate

Spine in legno duro, legno massello pressato, legno massello e resina sintetica; acciaio (zincato, cromato) oppure acciaio legato

Metodo mediante spina e vite calibrata
Definizione di una connessione mediante spina, vite calibrata oppure bullone

Angolo di connessione $\alpha \geq 37°$

Angolo di connessione $\alpha < 37°$

Viti calibrate

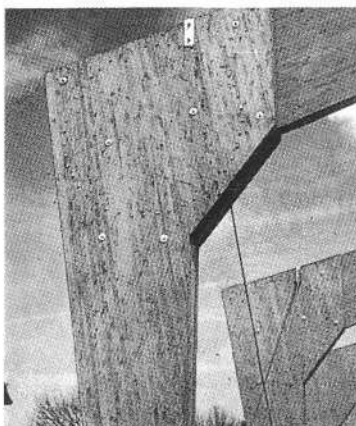
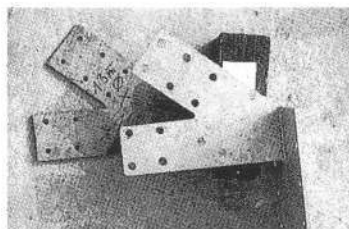
Bulloni con rondelle

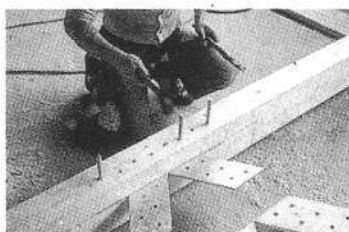
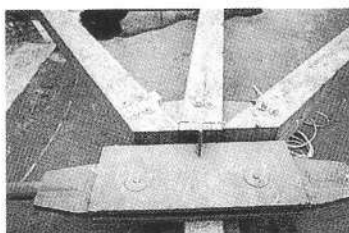
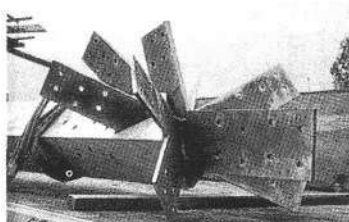
Connessione a bullone

Travi secondarie sospese alla trave principale

Connessione articolata di una trave

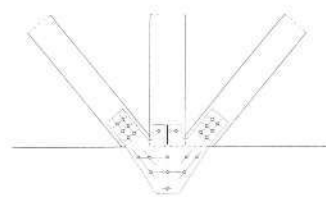
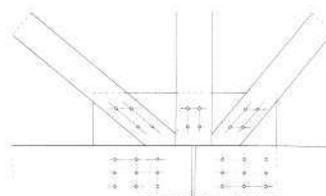
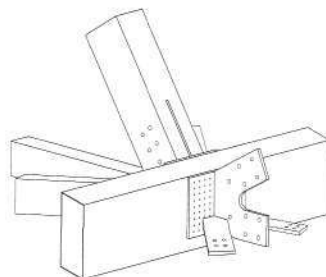
Connessioni legno-legno

Giunto resistente alla flessione con coprigiunto intermedio in compensato e spina non sfalsata

Nodo di traliccio con giunto a corrente

Nodo di telaio con cerchio di spine e bulloni di serraggio

Metodo di costruzione utilizzando spine

Per questo metodo occorre effettuare le prove riguardanti l'indebolimento di sezione trasversale del legno e della lamiera. Con il metodo a spina è possibile collegare direttamente due elementi lignei oppure legno e piastre di acciaio. Una connessione a spina consiste in un minimo di due spine. In caso di impiego di un numero elevato di spine, per garantire il fissaggio della posizione laterale si consiglia di dotare la spina di filetto, rondella e dado. In questo caso, bisogna prestare attenzione a! fatto che il diametro del filetto sia ridotto, in modo da ottenere un migliore inserimento nel foro di diametro inferiore alla spina. Nel corso della fase di progettazione esecutiva, nella combinazione di connessioni tra lamiere di acciaio e legno-viti calibrate occorre verificare che le lamiere non siano situate nella zona dei filetti.

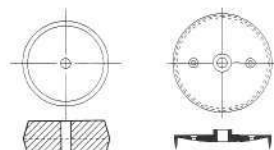
Connessione a pressione con profilo in acciaio inchiodato o incavicchiato

Nodo di telaio con cerchio di spine

Dime e parti finite saldate

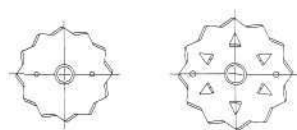
Esecuzione di fori per spine utilizzando apposite dime

Realizzazione di una trave reticolare in officina

Nodi di una trave rinforzata con tiranti inferiori, connessione delle aste di legno con spine e viti calibrate

Parti di acciaio saldate per nodi nello spazio

Connessioni legno-lamiera di acciaio

Nodi con lamiera intagliata e spine

Nodi con giunto a corrente e lamiera intagliata con spine

Nodi con parte di acciaio saldata, inchiodata, connessione delle diagonali mediante spine

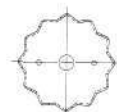
Connettori ad anello

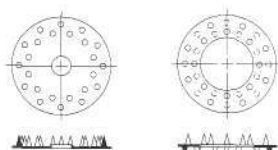
Tipo A

in legno duro
acciaio e fusione
(alluminio, acciaio)

Tipo B

Connettori a disco dentato

Bulldog semplice spessore ≤ 75 mm

Bulldog semplice spessore = 95 mm risp. 117 mm

Tipo C

Doppio Bulldog

Tipo C

Geka semplice

Doppio Geka

Tipo D

Determinazione di una giunzione mediante connettori

Tipo di legno latifoglie/conifere

Connettori ad anello tipo A, B

Connettori a disco dentato tipo C, D, E connettori ad anello tipo A, B

Tipo di connessione Connessione di testa /altre

amm. tipo A

amm. tipo A, B, C, D, E

Scelta del diametro f (Sezione del legno)

Scelta del diametro f (sez. trasversale del legno)

Carico amm. (diam. connettore/ numero complessivo) DIN 1052, p. 2, tab. 5

Carico amm.
f (diam. connettore/angolo direzione forza rispetto a fibratura)
Tipo A vedi DIN 1052, p. 2, tab. 4
Tipo B vedi DIN 1052, p. 2, tab. 4
Tipo C vedi DIN 1052, p. 2, tab. 6
Tipo D vedi DIN 1052, p. 2, tab. 7
Tipo E vedi DIN 1052, p. 2, tab. 7

Numero di connettori in successione
$n \leq 10$
se $n > 2$
eff. n. = $2 + (1 - n/20) \cdot (n - 2)$

Distanza tra connettori
Distanza marginale
DIN 1052, p. 2, tab. 5

Distanze connettori
f (una fila/più file)
Una fila: vedi DIN 1052, p. 2, tabb. 4, 6, 7
Più file: vedi DIN 1052, p. 2, tab. 8

Aumento dei carichi amm.
Carichi limite:

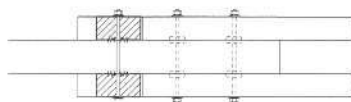
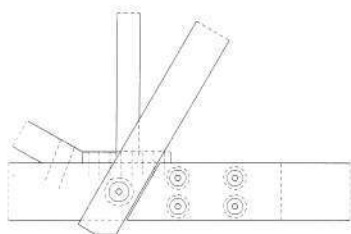
H	+ 0%
HZ	+ 25%
Carichi d'urto e sismici orizzontali	+ 100%
Montaggio, trasporto	+ 25%
Considerando i vortici di vento	× 1,8

Gli elementi di connessione ad anello e a disco dentato secondo la norma DIN 1052, parte 2, sono suddivisi in connettori ad anello di tipo A, B, connettori a disco dentato di tipo C, D e connettori ad anello dentato di tipo E.
Nelle tabelle sono indicati il carico ammissibile parallelo, obliquo e perpendicolare alla fibratura, così come le quote minime del legno e gli interassi tra i connettori.
I limiti della connessione di questo tipo stanno nel numero di elementi di connessione che possono essere disposti in successione. In caso di più di due connettori le forze di trazione ammissibili vanno ridotte, mentre non è consentito l'uso di oltre 10 connettori di fila. Tutti i connettori devono essere fissati con bulloni e rondelle secondo la norma DIN 1052. Nelle giunzioni mediante connettori si generano importanti indebolimenti di sezione trasversale dì cui occorre tenere conto nell'esecuzione delle prove di tensione, necessarie per determinare le sezioni delle aste per il dimensionamento delle connessioni.

Distanze tra connettori

Disposizione non sfalsata

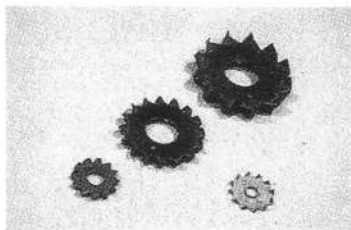
Disposizione sfalsata

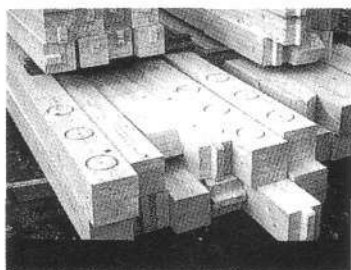
Giunto a trazione con connettori ad anello o a disco dentato, semplici o doppi

Nodi di traliccio con giunto di corrente inferiore

Giunti di testa ortogonale e obliquo, con connettori ad anello

2 connettori semplici nella sezione scatolare di un rompitratta

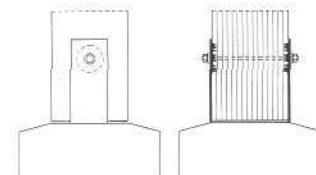
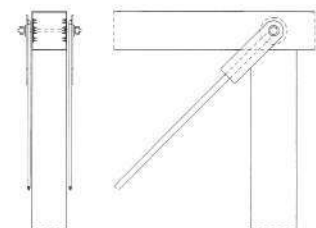
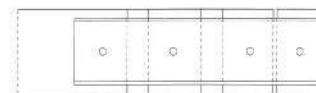
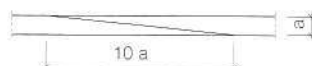
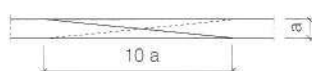
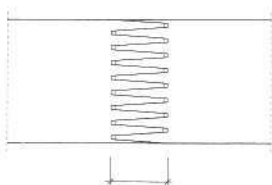
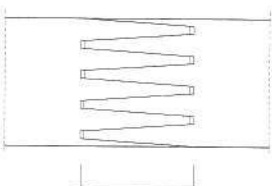
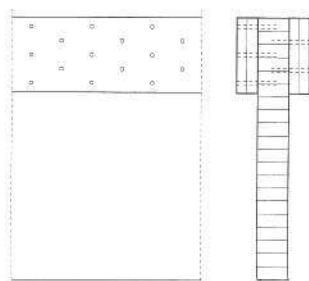
Sezione quadrata con connettore a disco dentato per giunto di testa

Connettore di testa

Connettori a disco dentato, semplici e doppi

Connettori ad anello, semplici e doppi

Squadrati con fresature circolari per connettori ad anello

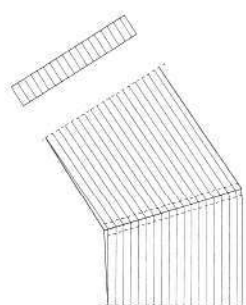
Connessioni legno-legno
! connettori ad anello sono utilizzabili anche come connettori di testa. L'effetto di serraggio avviene tramite bulloni M 12 insieme con tondino d'acciaio di diametro da 24 a 40 mm, con adeguati pezzi sagomati oppure con dadi forniti dì rondella (DIN 1052, p. 2, 4.3.2). La connessione di testa è ammessa soltanto per il legno lamellare. Questo metodo di connessione è vantaggioso soprattutto per le connessioni di costruzioni reticolari complesse con ridotte resistenze d'asta, così come per la connessione legno-legno di telai in lamellare con grandi superfici di contatto. Nella connessione di nodi di telaio sono tuttavia posti limiti inerenti alle tensioni di taglio e all'altezza dei rompitratta a causa delle possibili tensioni di resistenza trasversale alla fibratura conseguente a ritiro.

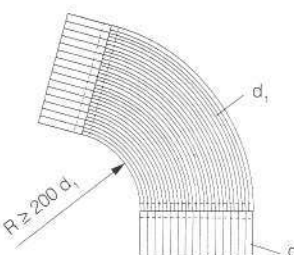
Giunzioni tra connettori e lamiera
I connettori con coprigiunto in lamiera sono impiegabili in modo vantaggioso per giunti a trazione e incastri. Utilizzando questo metodo, in cantiere vanno inseriti soltanto i relativi bulloni, mentre i connettori vengono applicati in officina durante la fase di fresatura.

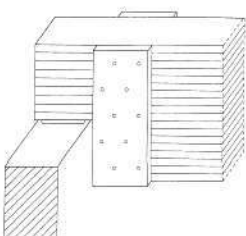
Connessioni legno-acciaio

Connessione di base di montante mediante connettori semplici

Connessione di puntone di trazione mediante connettore semplice

Giunto di trave resistente a flessione con profilo a U e connettore a barra piatta di acciaio saldata

Giunto obliquo

Giunto obliquo doppio

Giunto a coda di rondine piccolo

Giunto a coda di rondine grande

Incollaggio a pressione rinforzato da chiodi

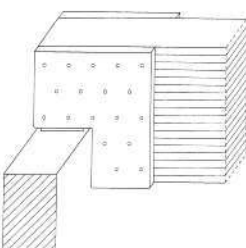
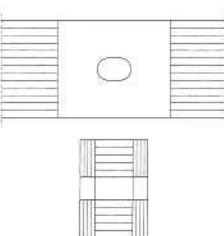
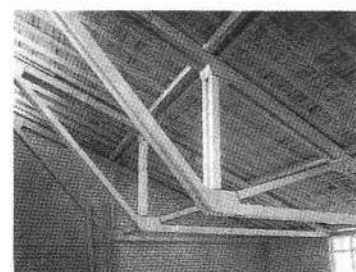
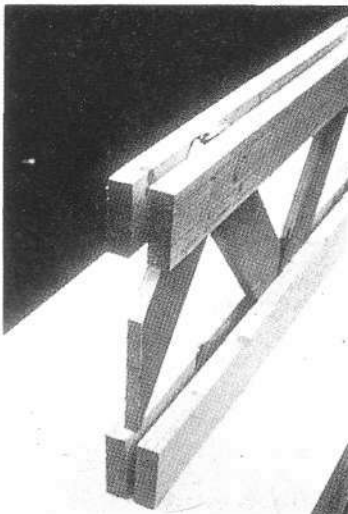
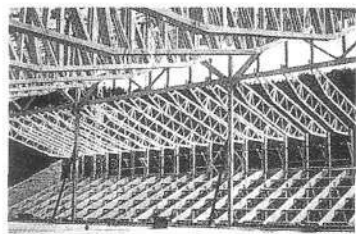
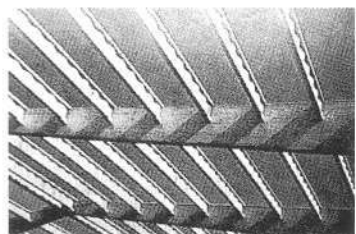
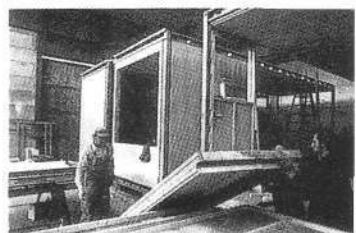
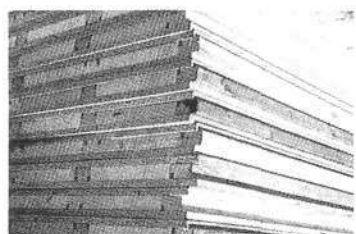
Tecniche di connessione mediante incollaggio

Gli adesivi e le tecniche di incollaggio sono stati sviluppati insieme al legno lamellare. Per gli elementi strutturali portanti delle costruzioni moderne in legno possono essere utilizzati esclusivamente adesivi di tipo autorizzato, secondo la norma DIN 68.141. Le condizioni di lavorazione devono essere rispettate scrupolosamente e sono soggette al controllo di qualità. Per gli elementi strutturali, che in condizioni d'uso sono direttamente esposti agli agenti atmosferici o alle condizioni climatiche degli edifici in cui è possibile superare un'umidità condizionata del 20% o a lungo termine o che spesso sono soggetti a temperature di 50 °C, occorre impiegare esclusivamente adesivi a base di resine sintetiche con resistenza dimostrata rispetto a tutti gli influssi atmosferici (ad esempio adesivi a base di resina resorcinica o melamminìca). Le resine epossidiche sono adatte soprattutto per l'incollaggio di giunti spessi e per le unioni legno-acciaio. Le percentuali di miscelazione e i test di idoneità vengono stabiliti dalle norme.
Di regola, va garantita la compatibilità tra adesivo e sostanza trattante del legno, che in casi particolari deve essere sottoposta ad apposite prove.

Giunti incollati
In Germania i giunti incollati portanti possono essere realizzati esclusivamente da ditte con apposita licenza e personale specializzato, così come di attrezzature controllate dall'Ispettorato dei lavori edili.
Questa tecnica consente connessioni a tenuta perfetta, che producono strutture portanti con forme di sezione ottimali.
Le tavole vengono dapprima congiunte in direzione longitudinale, ad esempio incollando giunti a coda di rondine. Quindi, gli strati di tavole vengono incollati uno sull'altro, prestando attenzione all'umidità del legno, a una sufficiente applicazione di adesivo e alla pressione esercitata. Durante la realizzazione di sezioni profilate le tavole possono essere incollate addizionalmente, ad esempio mediante incollaggio a pressione rinforzato da chiodi. Questo procedimento in cui la pressione viene applicata mediante l'inchiodatura è particolarmente adatto per il rinforzo locale con materiali derivati dal legno (DIN 68.140, DIN 1052).

Nodo di telaio con giunto a coda di rondine

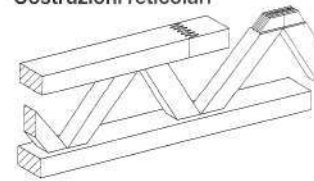
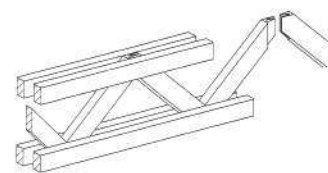
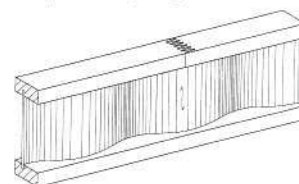
Giunti a coda di rondine, varianti

Nodo di telaio con giunto a coda di rondine ed elemento angolare ricurvo

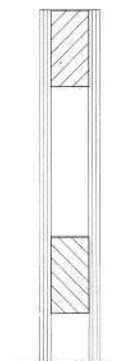
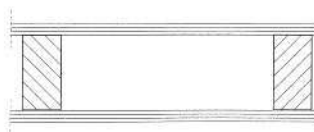
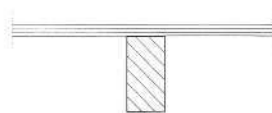
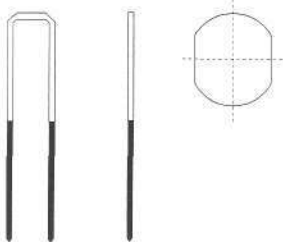
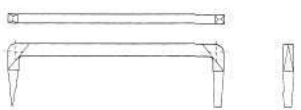
Nucleo di legno duro con giunto a coda di rondine per nodo di telaio

Incollaggio a pressione rinforzato da chiodi per assorbire le tensioni trasversali

Telaio a tre cerniere in legno lamellare con nodo di telaio con giunto a coda di rondine

Incollaggio a pressione chiodato per rinforzo dell'appoggio e assorbimento delle tensioni trasversali

Foro rinforzato con compensato e incollaggio a pressione chiodato

Corrente inferiore con giunto a coda di rondine

Sezione di trave Trigonit

Travi reticolari di tipo Trigonit

Travi ad anima ondulata

Pannelli prefabbricati in officina

Pannelli per tetti

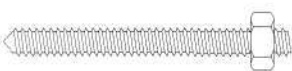
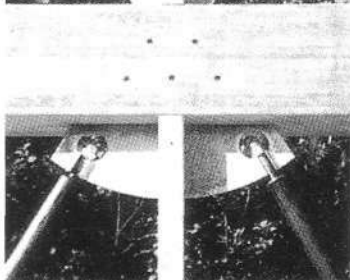
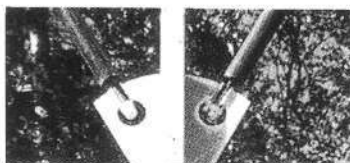
Elementi strutturali industriali
Da tempo, ormai, la realizzazione di travi reticolari a corrente e ad anima con giunti incollati viene effettuata mediante produzione industriale. In particolare, per le travi secondarie con luci da 8 a 14 m, nelle quali il legno a sezione quadrata non è più sufficiente, si rivelano economiche le sezioni composte e incollate. Grazie a questo procedimento è possibile realizzare anche travature principali con luce che raggiunge i 20 m. Le altezze costruttive di travi parallele sono limitate dalle autorizzazioni. Tra le marche più famose, ricordiamo Trigonit, DSB e Wellsteg, che corrispondono rispettivamente a trave reticolare con anima a geometria triangolare e incastro nelle ali superiore e inferiore, trave reticolare con anima a geometria triangolare e ala superiore sdoppiata, trave reticolare con anima ondulata.

Elementi strutturali realizzati con pannelli di legno
La loro fabbricazione avviene incollando legno a sezione quadrata con pannelli di compensato o di multistrato. I pannelli possono essere uniti anche tramite inchiodatura, con o senza incollaggio. Gli elementi a pannello vengono formati come travi scatolari cave o a I, che si possono utilizzare per la costruzione di case e padiglioni riducendo la spesa per il materiale. Come elementi portanti del tetto raggiungono luci di 15 m e possono anche trovare impiego nell'irrigidimento delle pareti.
Queste travi sono soggette alla norma DIN 1052 così come a un'autorizzazione da parte dell'Ispettorato dei lavori edili e possono essere fabbricate da ditte munite della relativa licenza.

Costruzioni reticolari

Trave reticolare con anima a geometria triangolare e incastro nelle ali superiore e inferiore (DSB)

Trave reticolare con anima a geometria triangolare di tipo Trigonit

Trave ad anima ondulata (Wellsteg)

Particolare di pannelli di legno

Graffe

a sezione circolare

a sezione quadrata

a sezione rettangolare

Graffe da costruzione e da impalcature secondo la norma DIN 7961 (tutte le misure in mm).

Perni filettati incollati

Tiranti su legno duro con perni filettati incollati

Materiali e tecniche di connessione speciali

Nella lavorazione dei particolari il progettista della struttura portante delle costruzioni in legno ha a sua disposizione numerosi elementi metallici di connessione. Qui ne vengono presentati alcuni.

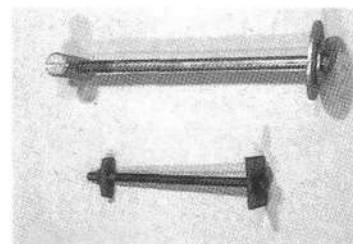
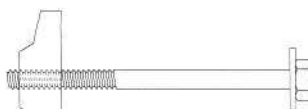
Connessioni a graffa

- Graffe per legno
  Consistono in filo metailico zincato o verniciato con antiruggine, spesso da 1,2 a 2 mm, che viene applicato con un apparecchio per inchiodare a macchina. L'effetto è simile a quello di due chiodi sottili, che vengono sollecitati pertaglio. Le graffe per iegno vengono utilizzate per il fissaggio di coperture, listelli e per elementi di pannelli di pareti nelle costruzioni di case in legno. Le connessioni a graffa sono regolamentate nel capitolo 8 della norma DIN 1052.

- Graffe per costruzioni e impalcature
  Fanno parte dei mezzi di connessione per il legno più tradizionali, sono adatte per la trasmissione di forze ridotte e per il fissaggio in posizione. Attualmente vengono utilizzate soprattutto nell'edificazione di impalcature e di costruzioni ausiliarie. I carichi ammissibili sono indicati nella norma DiN 1052.

- Rinforzi di appoggi con perni filettati incollati
  Con l'ausilio di perni filettati incollati o aste di faggio si possono aumentare le tensioni trasversali ammissibili nella zona dell'appoggio. Con contemporanea connessione di piastre chiodate sono possibili applicazioni di carico elevato in uno spazio ridotto.

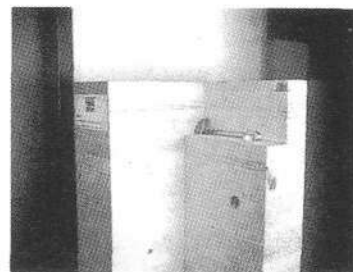
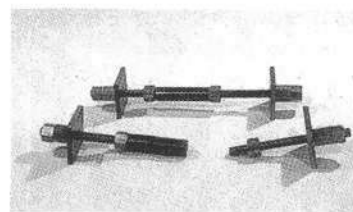
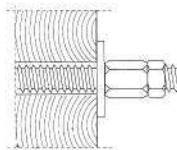
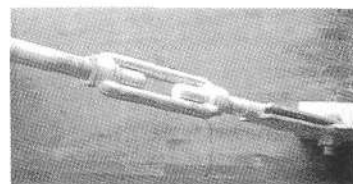
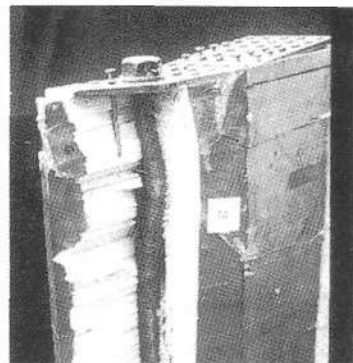
- Manicotti tenditori
  I tenditori o manicotti con controfiletto consentono la regolazione precìsa di aste circolari in controventi e rinforzi sul lato inferiore.

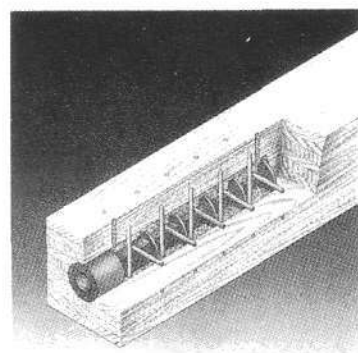
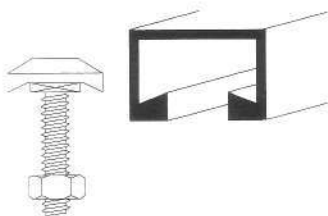
Le tolleranze di montaggio e gli effetti termici possono venire compensati tramite serraggio successivo. In casi particolari, vengono applicate aste di serraggio saldate.

Connettore Simplex in sezione e prospetto

Manicotti tenditori adatti anche per barre d'acciaio di tensione

Connessione con perno filettato

Dettaglio di appoggio con viti incollate

Connettori speciali

Sezione costruttiva di un giunto di testa con connettore ad anello e connettore speciale

Manicotti tenditori

Manicotto tenditore di un controventamento

Perno filettato incollato dopo prova di carico

Tassello a serraggio

Tassello a serraggio inserito

Guida di ancoraggio con relativo bullone

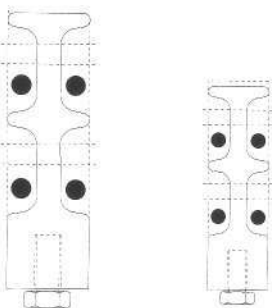
Dado esagonale Dado cieco

Lamella quadrata e rondella circolare

Anelli elastici

Connettori speciali

Tassello a serraggio

Per la trasmissione di carichi elevati sono adatti i tasselli profilati a serraggio, che vengono prima inseriti nei fori predisposti e quindi serrati. In questo modo si possono assorbire le forze sia di compressione sia di trazione e trasversali, rendendo possibili giunti rigidi senza dover aumentare la sezione trasversale. Rinforzando il punto di appoggio, con i tasselli a serraggio possono essere ceduti carichi elevati in forma concentrata. I giunti di testa si possono caricare fino a 192 kN. Con questo procedimento si ottengono adattamenti molto accurati, mantenendo così la geometria della struttura portante a! massimo della precisione.

Connessione con tassello a serraggio

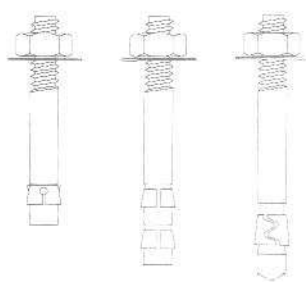
Guide di ancoraggio

Come elemento di connessione tra costruzione in legno e cemento sono adatte le guide con relative viti di ancoraggio. Anche in questo caso le tolleranze costruttive possono essere gestite in modo ottimale.

Elementi di serraggio

Le piastre di appoggio dovrebbero sempre essere di dimensioni sufficientemente grandi. Per garantire l'effetto di serraggio dei bulloni costruttivi oppure un pretensionamento costante oltrepassando le tensioni trasversali anche in caso di ritiro, si consigliano molle a tazza o anelli elastici. Le molle a tazza possiedono una corsa di espansione significativa che consente il mantenimento costante del pretensionamento.

Sistemi di tasselli di carico

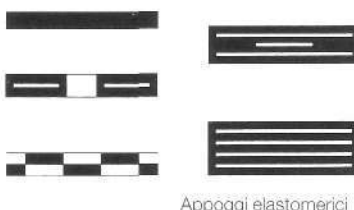
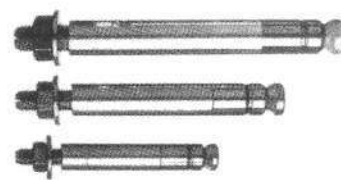
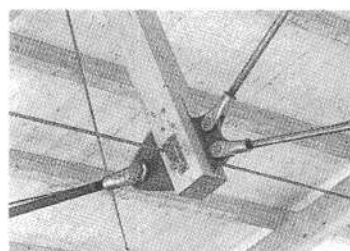
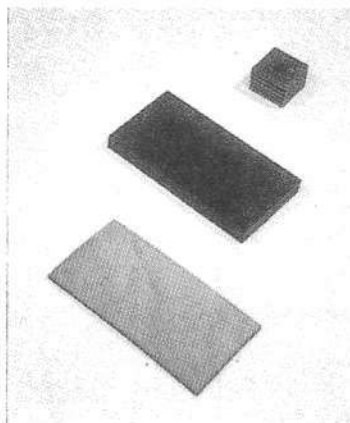
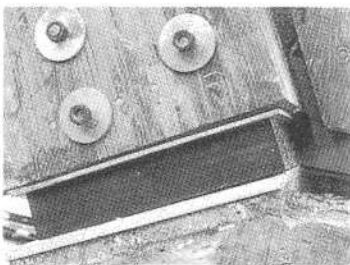
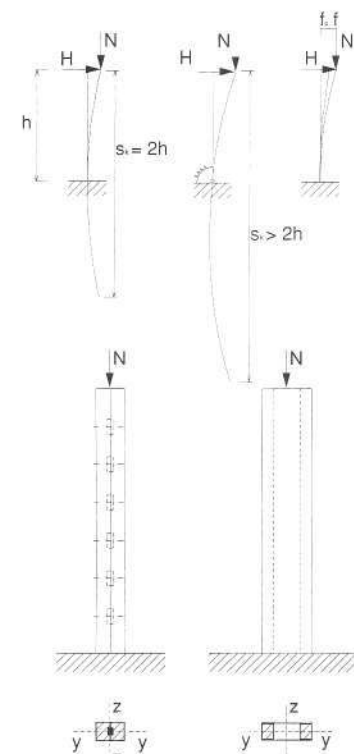
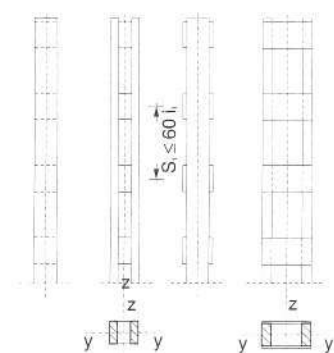
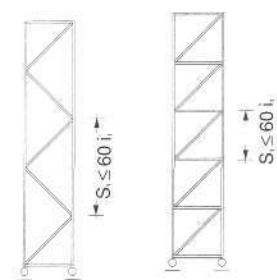
J_sjstemi usuali di tasselli, come ad esempio Hilti, Fischer e Upat, sono adatti a trasmettere carichi elevati dalla costruzione di-legno aLcemento. Poiché i fori nella piastra di cemento o dell'ancoraggio ad anello vengono eseguiti in cantiere, è possibile compensare le imprecisioni della struttura sottostante. I carichi ammissibili sono indicati nelle relative autorizzazioni. Vanno inoltre osservate le distanze marginali nel cemento.

Tasselli per trasmissione di carichi elevati al cemento

Parti in ghisa

Per serie maggiori di connessioni di forma singola sono adatte parti in ghisa.

Appoggi elastomerici o scorrevoli

Gli appoggi comunemente impiegati nella costruzione di ponti sono indicati anche per le costruzioni in legno, quando sì devono trasmettere elevate forze di appoggio. In questo modo è possìbile regolare liberamente le torsioni evitando l'innalzamento di pressioni ai bordi. Per gli appoggi scorrevoli è previsto un rivestimento in teflon.

Gli appoggi elastomerici sono consigliabili per i montanti sottoposti a carichi elevati, per centrare il carico ed evitare picchi di tensione. Nel dimensionamento, oltre a fare una prova delle tensioni non ammissibili, occorre prestare attenzione anche alle deformazioni ammissibili come ad esempio torsioni o spostamenti.

Appoggi elastomerici

Tasselli di tipo Hilti

Rinforzo a trazione con elementi in ghisa

Appoggi elastomerici di tipo rotante, oscillante e scorrevole

Asta di compressione su appoggio elastomerico

Sezioni piene, composte e scatolari

Elementi di telaio

Elementi di traliccio

Elementi di stabilizzazione e di irrigidimento

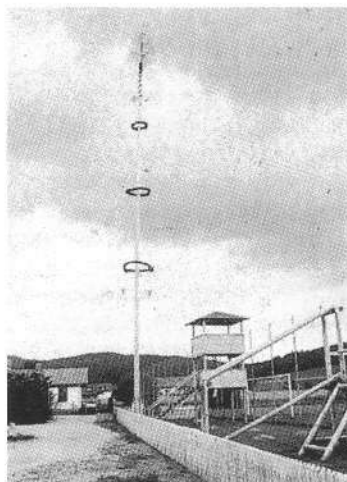
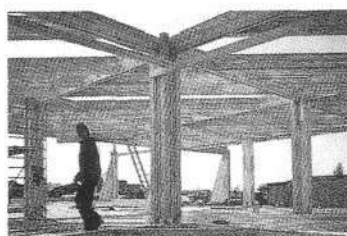
Il carico di rottura ammissibile delle travature principali dipende innanzitutto dagli elementi di stabilizzazione e irrigidimento e può venire influenzato da numerose misure costruttive. Oltre alla qualità del materiale, hanno un grande influsso anche la precisione durante la lavorazione e il montaggio. A livello teorico, la stabilizzazione del corrente superiore di una trave è possibile con un minimo scarto, se l'esecuzione è perfettamente rettilinea. In realtà, tuttavia, occorre sempre fare i conti con scarti geometrici, tolleranze, eccentricità, tensioni parziali, difetti di esecuzione ecc.

Travature verticali

Gli elementi di stabiiizzazione devono essere sufficientemente rigidi per assorbire leforze generate dalla posizione asimmetrica di aste, lastre o telai sollecitati da pressione. Il loro compito è quello di evitare problemi di pressoflessione, ribaltamento o penetrazione, senza seguire fino al suolo le sollecitazioni interne che ne risultano.

Le strutture dì irrigidimento assorbono i carichi esterni orizzontali di vento, i carichi di neve unilaterali, i carichi mobili, i colpi, i carichi di materiale sfuso, le forze frenanti e i carichi sismici che devono essere trasmessi fino al suolo.

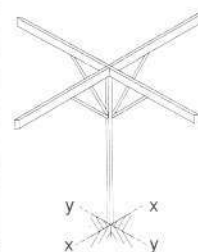
Aste incastrate

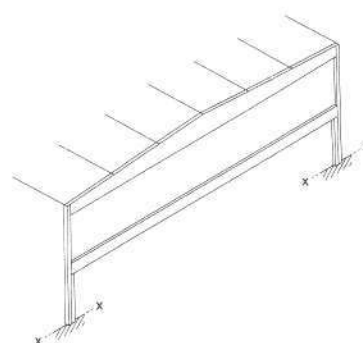
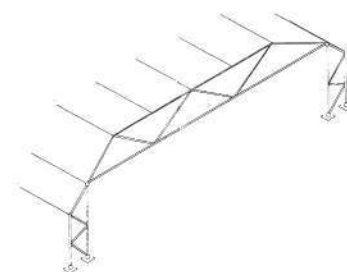
Esse vengono sollecitate da carichi interni e anche esterni. Per il dimensionamento sono disponibili due procedimenti: quello mediante asta sostitutiva e la teoria di tensione del secondo ordine. Spetterà all'ingegnere scegliere il metodo adeguato. Bisogna tener conto della cedevolezza della connessione mediante la rigidità dell'angolo di rotazione. La prova singola nei sistemi complessi viene sostituita dalla teoria di tensione del secondo ordine. Le aste incastrate vengono eseguite come sezioni piene di legno squadrato o lamellare oppure con sezioni composte.

Asta incastrata, albero della cuccagna

Pilastri incastrati, in quattro parti

Aste di telaio e di reticolo

I montanti composti da più parti sono suddivisi in aste di telaio continue e articolate con connessioni trasversali nei quali la prova di pressoflessione viene eseguita sia sulla struttura complessiva sia sul corrente. La riduzione del momento di inerzia attivo in seguito alla cedevolezza del materiale di connessione deve essere effettuata secondo la norma DIN 1052.

La prova di pressoflessione della struttura completa è possibile con lunghezze di aste sostitutive oppure tramite la teoria delle tensioni del secondo ordine con carico dei momenti in seguito a posizione obliqua e carico trasversale.

Costruzioni incastrate

Montante incastrato in direzione x e y

Montanti incastrati in direzione x e y

Montanti incastrati in direzione x

Montanti a traliccio incastrati in direzione x

Puntoni esterni di un capannone

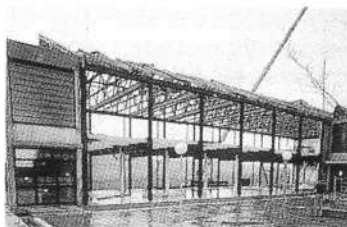
$$K = \frac{N}{50} \text{ (KH)}$$

$$K = \frac{N}{100} \text{ (BSH)}$$

Struttura statica per la stabilizzazione di montanti

Puntoni posti nella parete

Montanti rinforzati da puntoni

Per ridurre la lunghezza libera a pressoflessione e quindi il carico dei momenti delle aste compresse si consiglia l'uso di puntoni intermedi. Le posizioni oblique indesiderate o che subentrano in caso di carico vengono determinate mediante calcoli con carichi discensionali, che nel legno massello sono stabiliti a N/50 e nel legno lamellare a N/100. In questo caso N viene considerato come carico di pressione massimo risultante.

Scheletro in legno rinforzato da puntoni

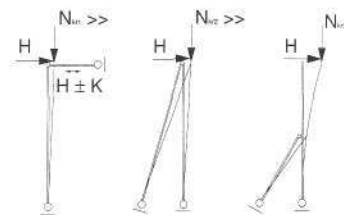
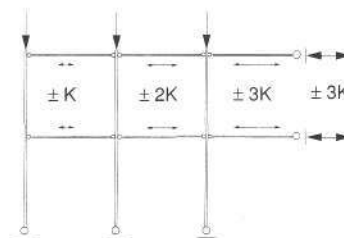
Costruzioni rinforzate da puntoni

Puntone singolo

Puntoni multipli

Tensori incrociati posti davanti alla parete

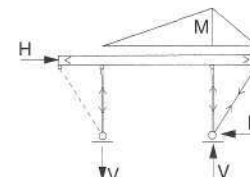
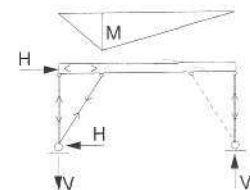
Tensori incrociati posti nella zona di appoggio

Costruzione colonna-rompitratta rinforzata da tensori; per l'acciaio occorre accertare le deformazioni causate dalle variazioni termiche

Aste rinforzate da tensori

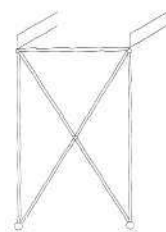
Un metodo che si presta particolarmente bene all'irrigidimento delle aste compresse consiste nell'utilizzo di tensori resistenti alla trazione. I tensori sono eseguiti in elementi di acciaio che possono venir tesi successivamente in caso di utilizzo di perni di acciaio filettato e manicotti, consentendo così un centraggio preciso degli assi. Ciò rende inoltre possibile compensare le tolleranze di misura e adattare con maggior precisione gli elementi della facciata. Durante il dimensionamento occorre tenere conto dei carichi variabili e delle oscillazioni termiche, oltre a eseguire la prova di deformazione. Nelle croci in acciaio bisogna considerare il pretensionamento.

Pilone rinforzato da tensori con membrana

Costruzioni rinforzate da tensori

Palo rinforzato da tensori

Travi e montanti rinforzati da tensori

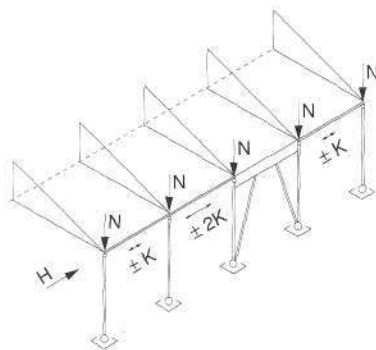
Disposizione a telaio con incastri agli angoli

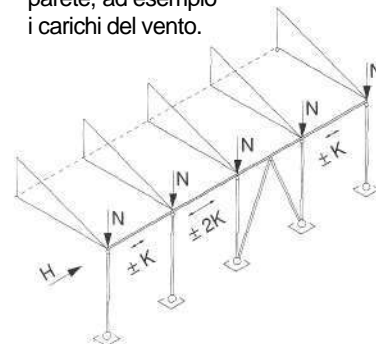
Disposizione a telaio con elementi di connessione cedevoli

Disposizione a traliccio diagonale

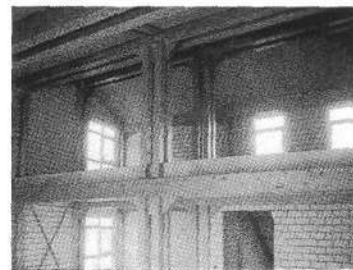
Traliccio diagonale

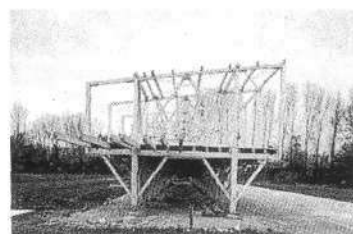
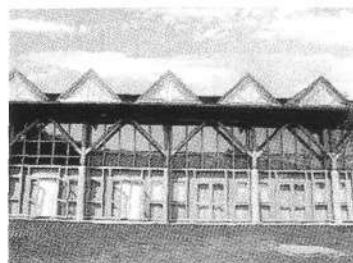
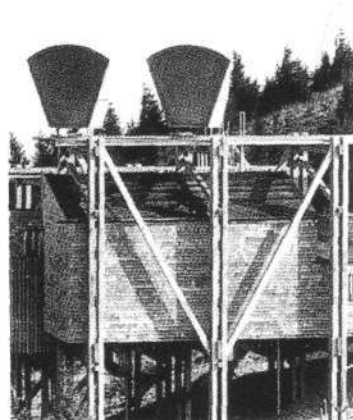
Sistemi portanti verticali perpendicolari alla travatura principale

Stabilizzazione e irrigidimento mediante teiai

Negli edifici con grandi aperture per portoni e finestre, al posto delle fastidiose diagonali si possono utilizzare intelaiature con profilo della luce più ampio. La costruzione a telaio posta nella parete - perpendicolarmente alla direzione della travatura principale - deve assorbire i carichi del vento dalla controventatura dì irrigidimento e quelli provenienti dai montanti obliqui delle capriate contigue. Bisogna poter contare su una sufficiente rigidità, soprattutto in presenza di grandi superfici coperte da vetrate. Il telaio può essere realizzato in legno a sezione quadrata, legno lamellare, legno multistrato oppure, in casi estremi, in profilato di acciaio.

Stabilizzazione e irrigidimento mediante tralicci

Negli edifici parzialmente chiusi vengono solitamente impiegati tralicci come irrigidimento delle pareti. Rispetto ai telai i tralicci necessitano di una minore quantità di materiale, anche se implicano un costo maggiore per gli elementi di connessione. Le diagonali dei pilastri rompitratta si possono usare come infrastruttura per la parete. Al momento del dimensionamento si dovrà tenere conto dei carichi da ciò risultanti, in particolare quelli perpendicolari alla parete, ad esempio i carichi del vento.

Disposizione a telaio con angoli liberi

Disposizione a traliccio a K

Telai a più piani

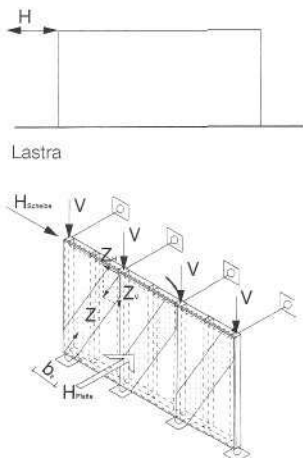
Angoli di telaio liberi con archi in legno multistrato

Telai con contraffissi

Traliccio diagonale continuo nella parete

Traliccio a V

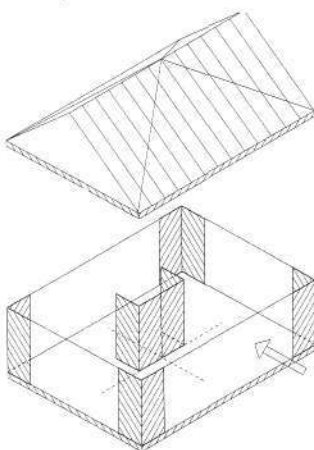
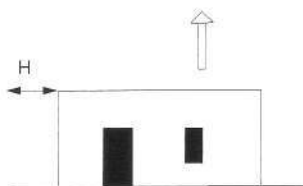
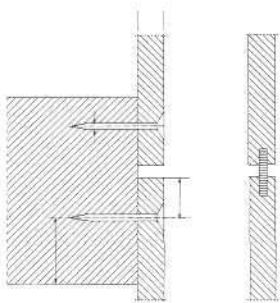
Fabbricato residenziale a più piani costruito con metodo a blocchi

Effetto lastra di parete tramite rivestimento con tavole diagonali

Lastra di parete in pannelli di legno

Palazzetto dello sport con pareti in elementi prefabbricati di calcestruzzo

Edificio commerciale a più piani costruito con metodo a traliccio

Lastra

Carico di una parete composta da tre pannelli

Lastra di parete in disposizione spazialmente simmetrica

Lastra con apertura

Tipo di giunti di pannelli in materiale a base di legno

Stabilizzazione e irrigidimento con lastre

Le lastre di parete possono essere realizzate in legno a sezione circolare, a sezione quadrata oppure con tavole. Per l'irrigidimento e la stabilizzazione di sistemi portanti si possono impiegare anche tavole o pannelli in materiale derivato dal legno disponendoli diagonalmente, così come lastre di lamiera trapezoidale, calcestruzzo, mattoni o pareti in arenaria calcarea. Nelle pareti chiuse o nelle pareti con aperture (finestre, porte e cavità) inferiori al 25% della superficie totale è possibile una conformazione resistente allo scorrimento come lastra di parete.

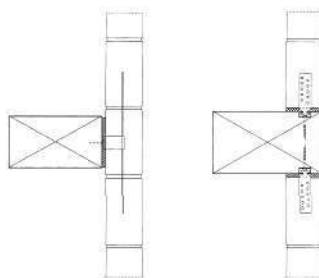
In particolare, occorre tener conto delle aperture di grandi dimensioni. Le forze agenti perpendicolarmente alla lastra vanno calcolate come sollecitazioni particolari.

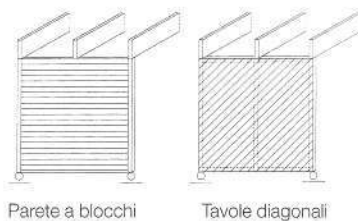
La disposizione di lastre di parete in pianta deve essere progettata in modo tale che almeno tre linee d'influenza non si intersechino in un punto.

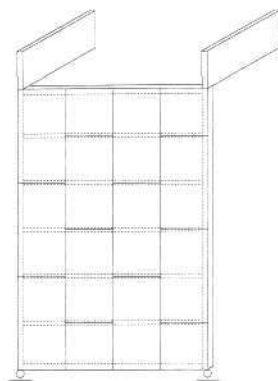
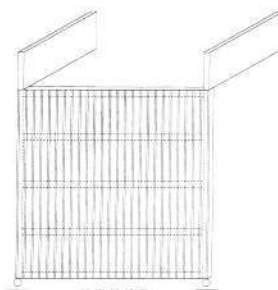
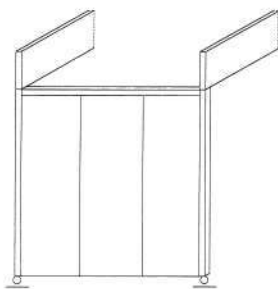
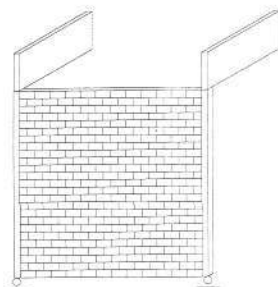
In caso di disposizione favorevole delle lastre di parete, i carichi di stabilizzazione e del vento si possono suddividere secondo la lunghezza della parete.

$$H_{xi} = \frac{b_{xi}}{\sum b_{xi}} W_x$$

$$H_{yi} = \frac{b_{yi}}{\sum b_{yi}} W_y$$

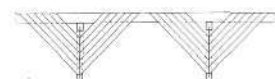
Occorre pianificare accuratamente la posizione delle giunzioni. Gli elementi di connessione devono essere dimensionati secondo le forze di lastra. In particolare, la trasmissione dei carichi di pilastri, solette o travi sugli elementi strutturali in tavole di legno o muratura va seguita con precisione tenendo conto dell'umidità di installazione, delle caratteristiche di ritiro e scorrimento.

Connessione di montanti in legno e parete piena

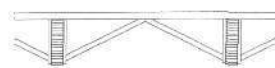
Costruzioni di lastre di parete

Parete a blocchi

Tavole diagonali

Pannellatura in materiale derivato dal legno

Pannellatura in lamiera trapezoidale

Parti prefabbricate in calcestruzzo

Muratura

Travi di rinforzo (principio strutturale a scatola)

Sistema statico

con pannelli di compensato o pannelli pressati piani

con listoni o tavole

con acciaio

con angolari di legno

con angolari di legno rovesciato

Stabilizzazione e irrigidimento di travature secondarie

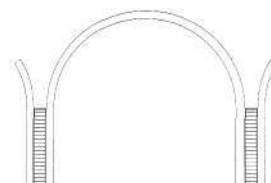
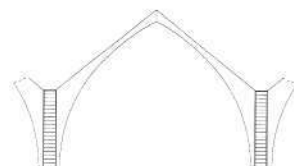
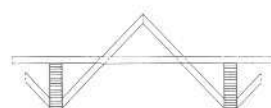
Travi di rinforzo

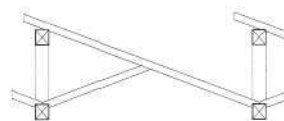
Per l'irrigidimento da oscillazione di travi flessibili di tipo composto o scatolare, come pure di correnti di tralicci sono staticamente adatte le travi di rinforzo con struttura scatolare. In questo modo la luce tra le travi principali e la forma del tetto vengono utilizzate e conformate in modo particolare. L'effetto statico continuo del sistema portante secondario viene ottenuto in maniera semplice e impiegato vantaggiosamente. In caso di tetto a forma profilata si dovrà tener conto dei carichi unilaterali di neve e vento.

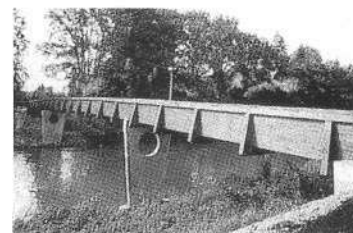
Contraffissi

Il tipo certamente più antico e consolidato di irrigidimento è rappresentato dai contraffissi, che possono venire realizzati nelle forme più disparate. Se vengono utilizzati elementi di stabilizzazione per l'irrigidimento da ribaltamento e pressoflessione che sono resistenti soltanto alla trazione, si consiglia un'adeguata precompressione. L'applicazione del carico nel corrente inferiore va verificata accuratamente non appena le travi di colmo vengono appoggiate al centro della campata. L'equilibrio delle forze orizzontati deve essere testato soprattutto nelle campate marginali.

Travi di rinforzo

con arco in legno lamellare

in legno lamellare incollato

con elementi squadrati continui per esecuzione di installazione e illuminazione

con elementi in legno squadrato

con elementi in legno squadrato e trave reticolare libera su un lato per l'illuminazione

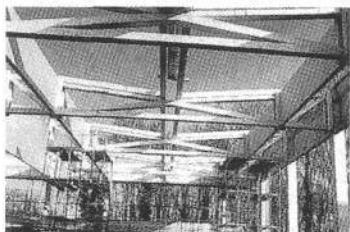
Contraffisso in legno multistrato curvato

Travi di rinforzo per stabilizzazione dell'ossatura del ponte

Contraffissi disposti nello spazio in una costruzione storica

Contraffissi disposti nello spazio in una costruzione nuova

Costruzione a telaio con contraffissi a geometria spaziale

Arcarecci reticolari

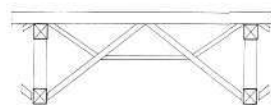
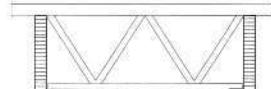
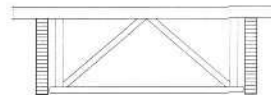
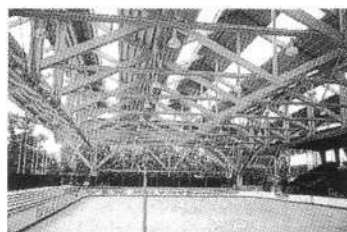
per la stabilizzazione del telaio a traliccio

per la stabilizzazione della trave continua ad anima piena

per la stabilizzazione della trave reticolare

per la stabilizzazione del corrente del telaio a traliccio

Arcarecci reticolari per tetti inclinati

Arcarecci reticolari

In caso di luci di grandi dimensioni ovvero con grandi distanze tra capriata e sistemi portanti alti, si consiglia una conformazione a traliccio delle travature secondarie. La forma del tetto, la struttura dell'interno e le sistemazioni di installazioni si possono conciliare facilmente con l'esigenza di irrigidimento delle travature secondarie. La molteplicità delle conformazioni di travature secondarie è praticamente illimitata.

Arcarecci reticolari per tetto piano

Costruzione reticolare romboidale - trave secondaria con luce di 30 m per la stabilizzazione della travatura principale del traliccio con iuce di 60 m

Strutture nel piano

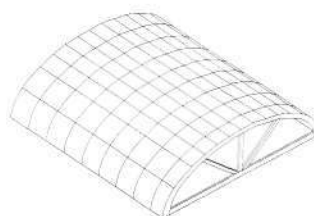
per la stabilizzazione del telaio ad anima piena

per l'irrigidimento della struttura portante nervata nello spazio

Struttura piegata

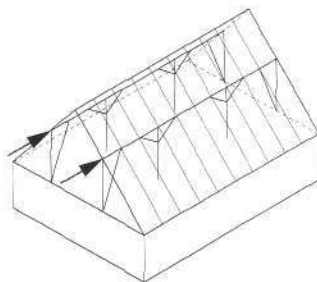
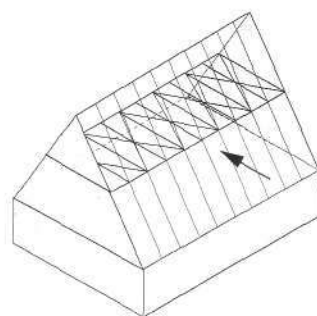
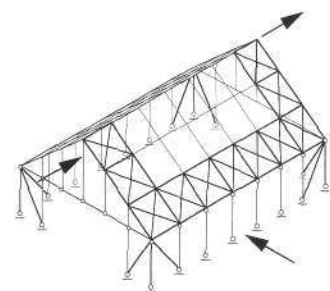
Membrana a forma di paraboloide iperbolico

Sistemi agenti nel piano

I sistemi portanti secondari possono agire nello spazio in collegamento con le travi principali a essi perpendicolari quando vengono conformati alle strutture nel piano. Di esse fanno parte volte corrugate, sistemi portanti a botte ricurva e doppiamente ricurva. I correnti delle travi principali, che in questo caso sono soggetti a flessione, vengono sostenuti in modo continuo. Con luci grandi è economicamente conveniente tener conto del comportamento statico nello spazio dell'intera struttura, in modo da ridurre le forze di stabilizzazione. Utilizzando metodi ed elementi finiti non lineari è possibile ottenere un comportamento alla deformazione sensibilmente più favorevole.

Volta a botte

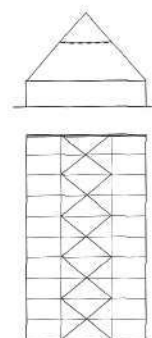
Volta a conchiglia

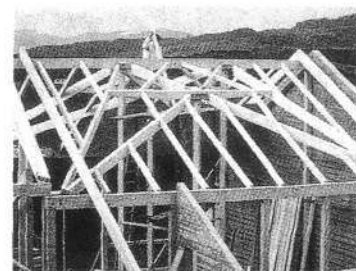
Controvento resistente a trazione

Controvento resistente a trazione e compressione

Contraffissi con effetto telaio in direzione longitudinale

Traliccio sul piano della catena

Traliccio a U sul piano del tetto

Sistemi portanti orizzontali e inclinati

Controventi longitudinali
I tetti di case a capriata semplice o a falsi puntoni possono essere irrigiditi mediante controventi sotto forma di fasce di acciaio inchiodate, lamiere, elementi di compressione in listelli o tavole di legno.
Va prestata particolare attenzione a un accurato convogliamento del carico del vento nella costruzione sottostante.
Se sono disponibili lastre di frontoni irrigidite, esiste la possibilità di ridurre la luce dei puntoni mediante controventi longitudinali. Si dovrà testare la caratteristica di supporto longitudinale dei travetti dei contraffissi secondo la norma DIN 1052.
I controventi longitudinali sotto forma di tralicci o di strutture a trazione a forma di parabola sono soluzioni economiche per le strutture caratterizzate da pessime condizioni di fondazione, nelle quali non è possibile evitare gli incastri di montanti o spinte orizzontali per garantire la stabilità complessiva. I carichi unilaterali da neve o da vento devono essere seguiti fino al terreno.

Controvento doppio resistente a trazione e compressione

Controvento diagonale in direzione longitudinale

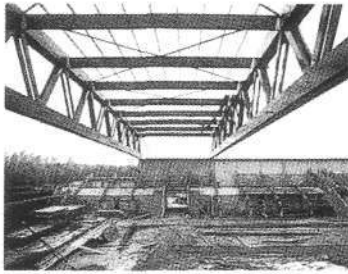
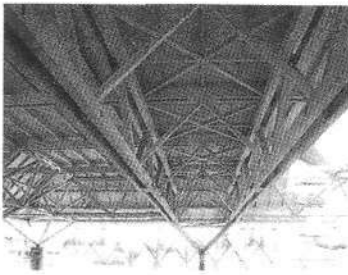
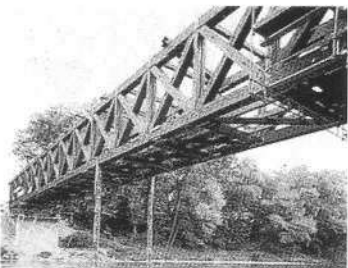
Controvento resistente a pressione sotto travi di colmo accoppiate

Controventi incrociati

Supporto in direzione longitudinale

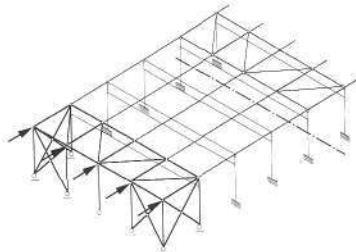
Irrigidimento longitudinale tramite traliccio orizzontale con diagonali in acciaio incrociate

Realizzazione di equilibrio statico mediante tensori delle forze del vento sollevanti

Controventamento a parabola in direzione longitudinale

Irrigidimento longitudinale tramite traliccio orizzontale con diagonali in legno incrociate

Controvento orizzontale con diagonali di acciaio

Controvento orizzontale con diagonali di legno, arcarecci a K per le forze orizzontali derivanti da apparecchi rotanti

Controvento orizzontale con traliccio diagonale in legno

Controventamento orizzontale con diagonali in acciaio incrociate

Controventi trasversali
I controventi trasversali devono essere in grado di assorbire i carichi discensionali in seguito a inevitabili imprecisioni di fabbricazione e di montaggio e nel contempo di irrigidire il sistema principale da flessioni o ribaltamento.

Controvento di stabilizzazione in direzione trasversale come traliccio con diagonali ascendenti

Nei tetti piatti i carichi di stabilizzazione e irrigidimento vengono trasmessi tramite travi reticolari sul piano dei tetto ai montanti ovvero alle pannellature di parete laterali. Per la stabilizzazione dei correnti superiori delle travi sottili ad anima piena il controventamento di stabilizzazione va dimensionato con un carico laterale q_s:
per travi reticolari

$$q_s = \frac{m \cdot N_{trav}}{30 \cdot l}$$

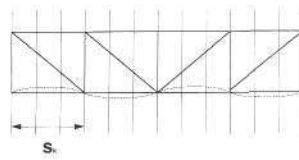
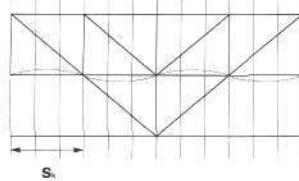
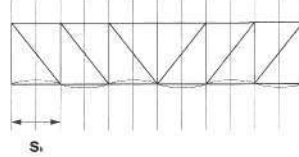
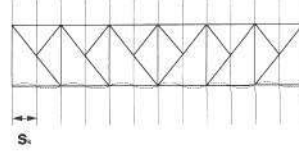
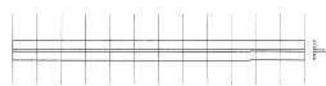
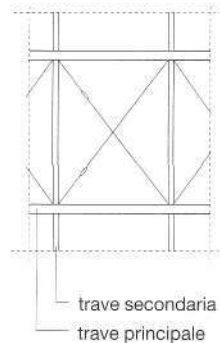
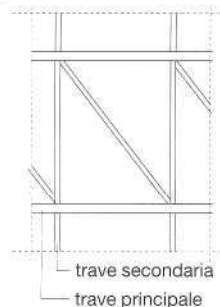
per travi ad anima piena

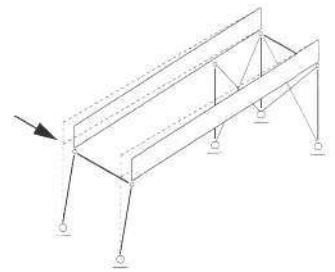
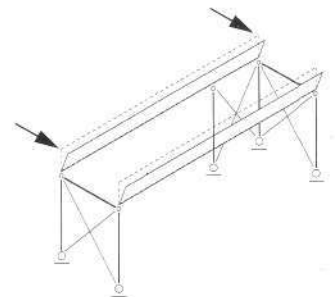
$$q_s = \frac{m \cdot M_{max}}{350 \cdot l \cdot h}$$

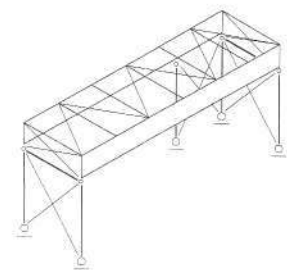
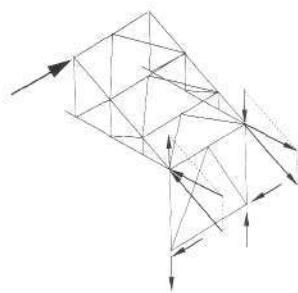
Per le luci superiori a 40 m il carico laterale q_s va completamente sovrapposto al carico del vento.
Le deformazioni dei controventi devono essere limitate a

$$f \leq \frac{l}{1000}$$

Le distanze dei controventi solitamente non devono superare i 25 m. Per prove e misure costruttive più precise, come ad esempio connessioni resistenti alla trazione di arcarecci in direzione longitudinale, sono possibili interassi più grandi. Durante la prova di deformazione va tenuto conto della cedevolezza degli elementi di connessione nelle luci grandi.

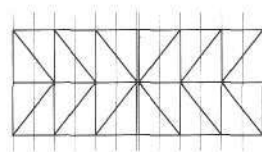
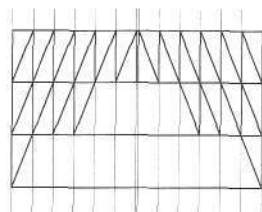
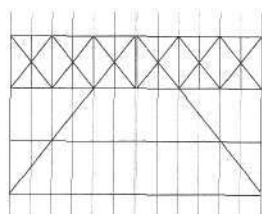
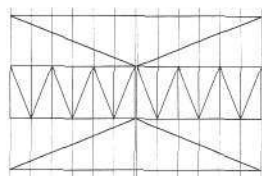
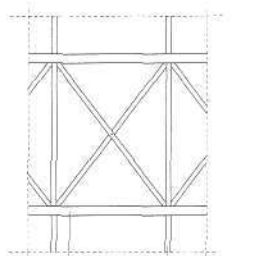
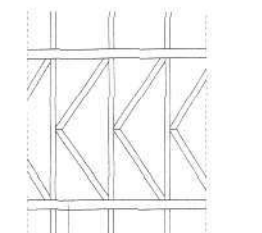
Varianti di controventi

con grande lunghezza di flessione

con rigidità aumentata

con lunghezza libera ridotta

con piccola lunghezza libera

con rigidità propria del sistema di travi principale

diagonali in acciaio regolabili in seguito

diagonali di legno

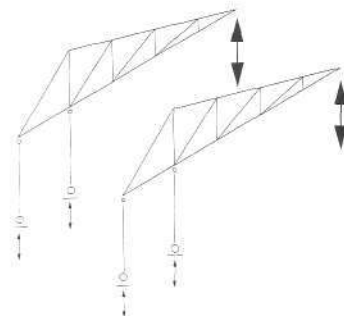
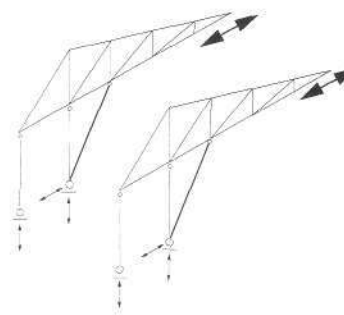
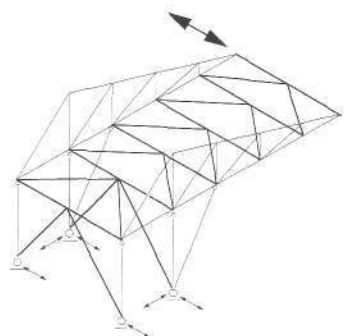
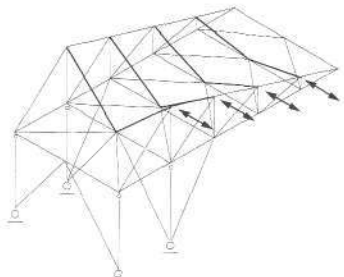
Travi su 2 montanti

unilaterale senza irrigidimento senza stabilizzazione

con controventi di parete

con controventi e appoggio a forcella

stabile e irrigidita in tutte le direzioni

Equilibrio statico di un controvento inclinato nello spazio

Struttura a sbalzo

Nei tetti molto inclinati i carichi discensionali sono costruttivamente difficili da riunire nel punto del colmo. In questo caso esiste la possibilità di impiegare nel modello di calcolo un profilo a sbalzo, dato che nel settore di appoggio i controventi possono venire collegati facilmente. Il comportamento statico è stato testato tramite prova in scala 1:1. La conformazione del controvento con struttura a sbalzo può essere molteplice, in quanto la rigidità può venire sensibilmente aumentata tramite scalini, puntoni, tensori o accoppiamento di più campate.

Varianti di strutture a sbalzo

traliccio a sbalzo su 2 campate

traliccio diagonale a gradini

traliccio diagonale con puntoni

traliccio diagonale con tensori

Croce di Sant'Andrea

Controventamento a sbalzo

Profili a sbalzo

senza irrigidimento e stabilizzazione

con tensori di rinforzo resistenti a pressione con fissaggio orizzontale

con tensori di rinforzo resistenti a pressione, fissaggio orizzontale, parete e controvento al corrente inferiore

con tensori di rinforzo resistenti a pressione, fissaggio orizzontale, parete e controvento al corrente inferiore e stabilizzazione del corrente superiore

Struttura a sbalzo in pianta

Controvento diagonale in legno squadrato sul piano del tetto

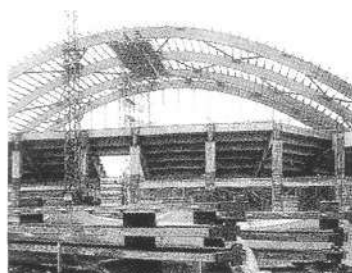
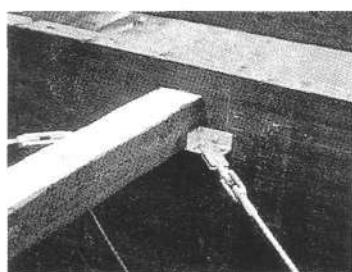
Struttura scatolare sporgente

Controvento incrociato di tavole

Controvento diagonale sporgente nel timpano con pannellature di parete

Controvento sul piano del tetto a scopo di irrigidimento e stabilizzazione del corrente superiore del traliccio. Travi di rinforzo per la stabilizzazione del corrente inferiore del traliccio in caso di forze del vento sollevanti

Controventamento con traliccio diagonale incrociato su due campate

Padiglione ad arco con controventi in tutte le campate

Controventamento trasversale a gradini

Dettaglio di un controventamento diagonale in acciaio con manicotto tensore

Varianti di controventi trasversali

rinforzato da puntoni

a gradini

controvento a impalcatura

trave secondaria

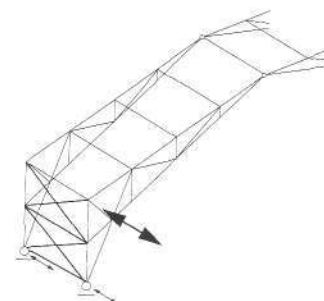
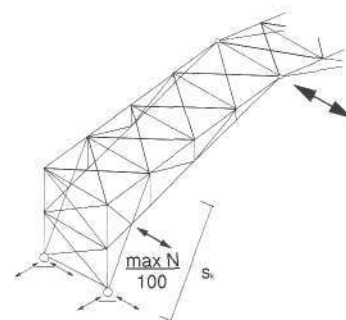
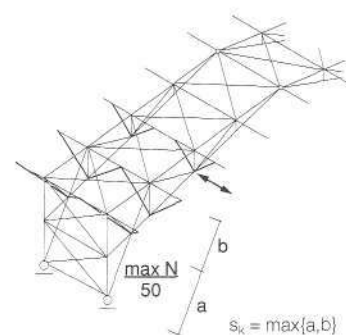
trave principale

Controvento per impalcatura su due campate a capriata

Sistemi piegati

Dai controventi di telai e archi risultano sostanziali forze invertenti derivanti dalla geometria della travatura principale, che possono essere determinanti per il suo dimensionamento. Per luci di grandi dimensioni è consigliabile l'analisi dell'intera struttura portante, dato che le formule di calcolo approssimative portano a elevate resistenze all'asta e alla connessione nei controventi, le quali generano nodi di connessione costosi. In caso di luci ridotte è sufficiente adottare un modello di calcolo per costruzione reticolare a sbalzo.

Telai reticolari a tre cerniere

senza irrigidimento,
senza stabilizzazione

con controventamento

con controventamento su tetto e parete

con controventamento su parete, tetto e stabilizzazione del corrente di compressione nel settore del nodo di telaio

Elementi di irrigidimento ad esempio per tetti

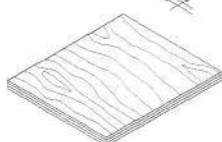
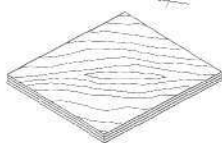
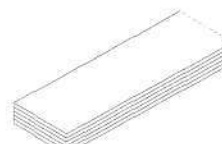
senza maschiatura

con intervallo, smussato

tavole sfalsate e chiodate

con maschiatura

tavolato con doppia maschiatura (profilo F 30, DIN 4102)

legno compensato

legno multistrato

pannelli pressati piani

non smussato

con maschio e femmina

lamiera trapezoidale

Lastre per tetto e solette

composte da uno strato di tavole o tavoloni

I tavolati del tetto composti da singole tavole fissate con uno o due chiodi hanno un ridotto effetto di irrigidimento.

I correnti sollecitati dalla pressione dei tralicci del tetto con luci fino a 12,50 m e interasse della struttura inferiore a 1,25 m, possono venire stabilizzati con l'uso di tavole, a patto che vengano rispettate le regole costruttive secondo la norma DIN 1052. Per il sostegno di carichi esterni, ad esempio vento ecc., tramite misure costruttive (come tavolati posati diagonalmente, tavolati posati diagonalmente alternati con prove più precise) sono ottenibili rigidità di controventamento sufficienti con modelli di calcolo, analogamente ai tralicci. Va prestata particolare attenzione al collegamento delle forze diagonali, che vanno verificate con apposite prove.

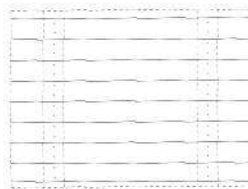
Con strati di tavole di larghezza adeguata e inchiodatura ai correnti rìgida sulla base di analogie Vierendeel, tenendo in considerazione la cedevolezza del materiale di connessione è possibile ottenere luci fino a 30 m con rigidità diagonale al controventamento.

Le flessioni orizzontali vanno limitate a 1/1000 della distanza tra gli appoggi; le flessioni verticali delle tavole ovvero dei tavoloni vanno limitate a 1/400 della distanza tra gli appoggi.

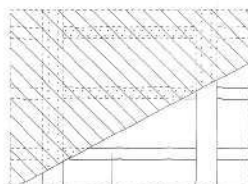
composte da più strati di tavole o tavoloni

Per aumentare la rigidità delle lastre de! tetto e della soletta è possibile utilizzare tavolati composti da più strati. Un'ulteriore variante economica è rappresentata dalla combinazione di tavolati e pannelli di materiale a base di legno resistenti allo scorrimento.

La prova delle rigidità può avvenire secondo modelli di calcolo analogamente alle travi composte oppure alle travi ad anima.

Va prestata attenzione ai metodi di connessione, ossia alla sufficiente inchiodatura con gli interassi tra i chiodi necessari, così come agli interassi delle giunzioni delle tavole, a meno che non vengano utilizzate tavole con giunti a coda di rondine continui.

tavolato del tetto normale

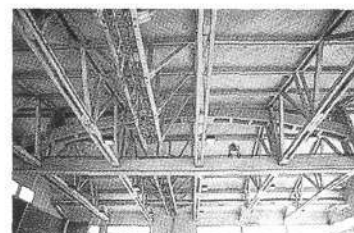
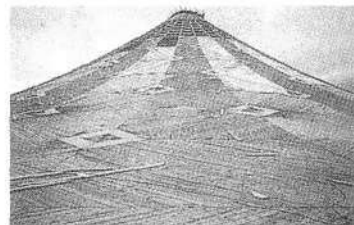
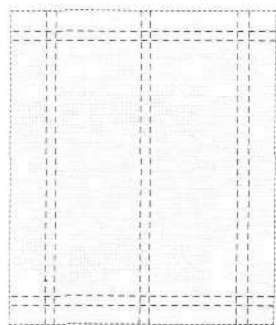
tavolato ortogonale

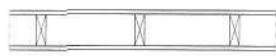
tavolato diagonale

trave secondaria
trave principale

tavolato diagonale incrociato

Strato di tavoloni come struttura di irrigidimento

Traliccio stabilizzato con tavolato diagonale

Costruzione del tetto stabilizzata con tavolato diagonale

Traliccio triangolare stabilizzato con tavolato diagonale e arco con traliccio triangolare

Tetto sospeso irrigidito con strato di tavole diagonale

Pannelli per tetti e solette

unilaterali, incollati, inchiodati o avvitati

bilaterali, incollati, inchiodati o avvitati

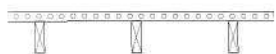
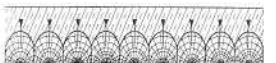



tavola di soletta rinforzata

elemento scatolare per grandi luci

lamiera trapezoidale

struttura mista di lamiera trapezoidale e calcestruzzo

pannello composito di calcestruzzo e legno

struttura mista di calcestruzzo e legno con sezioni semicircolari

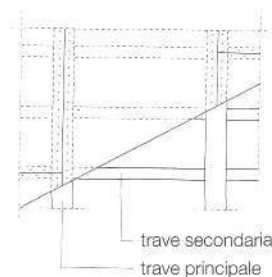
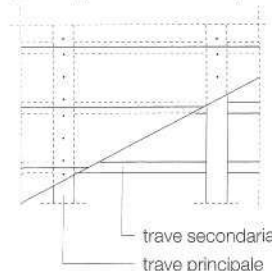
Lastre del tetto in materiali derivati dal legno

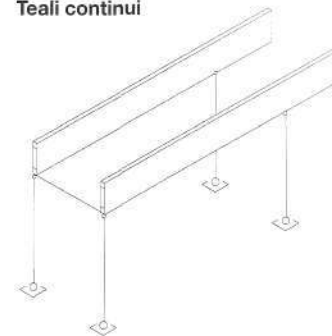
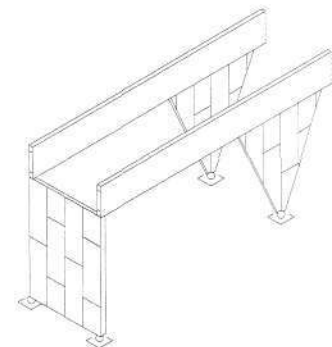
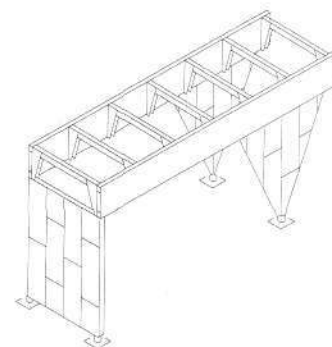
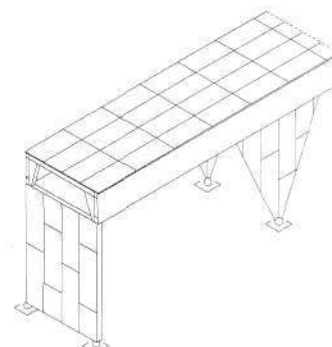
Le lastre in materiali derivati dal legno vanno sottoposte a prova statica per approssimazione con sistemi sostitutivi come avviene per le travi flessibili con elementi a sezione complessa cedevoli.
Va prestata attenzione alla conformazione costruttiva dei giunti e della chiodatura in modo da creare una connessione resistente con i correnti superiori della travatura principale, siano questi arcarecci, puntoni, correnti superiori di travi, tralicci, tiranti ad asta ecc. Come elementi secondari si distingue tra pannelli di legno e costoloni irrigiditi, ovvero ricoperti di pannelli simmetricamente e asimmetricamente, unilateralmente o sui due lati, con funzione staticamente portante.
Va testata la larghezza concomitante del pannello, considerando anche la cedevolezza degli elementi di connessione nella sezione composta.
Occorre inoltre prestare particolare attenzione al comportamento della diffusione del vapore; deve essere anche impedita l'imbibizione durante il periodo di installazione. Va infine osservato il rispetto della resistenza della lastra per 1/1000 della luce.
L'aumento della resistenza della lastra può avvenire tramite conformazione costruttiva dei pannelli in sezione scatolare parallelamente alla travatura principale mediante arcarecci oppure direttamente come travatura secondaria, tenendo in considerazione anche le tensioni subentranti nei pannelli con effetto staticamente co-portante.

Elementi scatolari da travi ad anima e pannello in compensato

Pannelli pressati piani utilizzati per travi principali stabilizzanti del tetto

Lastre di tetti e solette in materiali compositi

Le travature principali o portanti possono venire costruite anche con effetto portante a lastra e con lamiere di acciaio trapezoidali con corrispondente fissaggio, così come con lamiere trapezoidali con riempimento di calcestruzzo, e venire quindi utilizzate come lastre per solette e tetti. Occorre testare in particolare la creazione dell'effetto composito tra piastra e costolone di legno. La combinazione di costoloni di legno, tavolati e pannelli compositi con calcestruzzo co-portante oltre all'elevata resistenza di lastra crea elevate resistenze nel pannello nervato e resistenze all'oscillazione. Inoltre, nei requisiti inerenti alla protezione antincendio e acustica il metodo di costruzione misto calcestruzzo-legno è impiegabile economicamente in particolare per il risanamento di vecchi edifici e per la costruzione di nuovi piani. A livello di calcolo va prestata particolare attenzione al comportamento a lungo termine della costruzione mista.

Pannelli resistenti allo scorrimento (ad esempio pannelli di truciolato, pannelli di compensato, pannelli di tavole, pannelli multistrato)

Pannelli di calcestruzzo poroso

Teali continui

senza irrigidimento, senza stabilizzazione

con puntoni e pannellatura a parete

con puntoni, pannellatura a parete e travi di rinforzo

con puntoni, pannellatura a parete, travi di rinforzo e lastra di copertura. Stabile e irrigidito in tutte le direzioni

sezioni a T e a I in legno lamellare

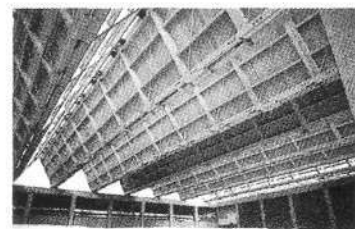
Stabilità creata nella forma e nella geometria

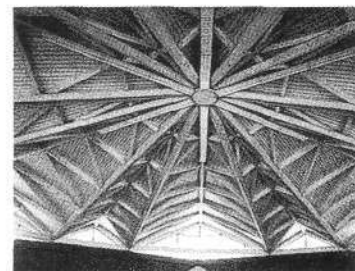
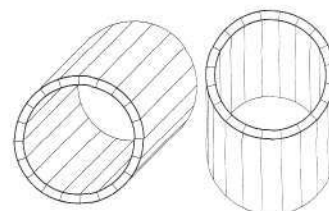
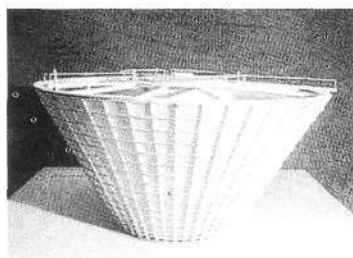
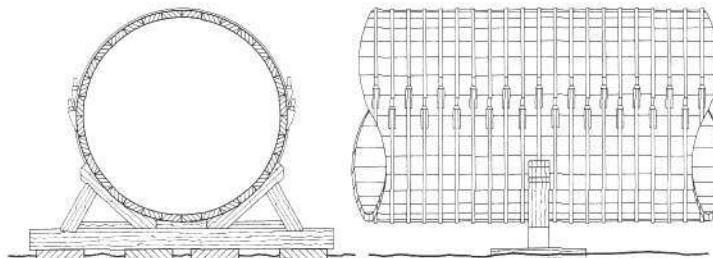
Mediante la rigidità di forma della travatura principale in sezione
Le travature principali possono stabilizzarsi da sole da pressoflessione, oscillazione e carico di punta, tramite una rigidità rinforzata all'asse y con l'ausilio di sezioni al aTT, triangolari o circolari, ovvero sotto forma di strutture corrugate. In questo modo si hanno travi reticolari nello spazio che vanno testate per quanto riguarda il carico di punta sia in direzione x sìa in direzione y, dove le tensioni del carico di punta vanno a sovrapporsi alle tensioni flettenti. Le sezioni complesse devono essere realizzate tenendo conto della cedevolezza dell'elemento di connessione. Nelle travi ad anima piena si rende superflua la prova relativa all'oscillazione quando la snellezza H/B è inferiore a 4 e la stabilizzazione sull'appoggio è garantita da un supporto a forcella.

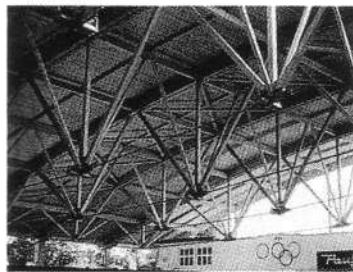
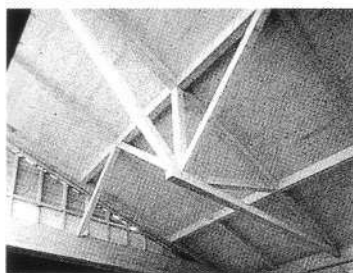
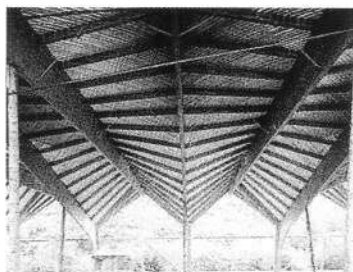
Fino a una snellezza di 10 può venire eseguita una prova di pressoflessione semplificata secondo la norma DIN 1052, in cui tuttavia risultano dimensioni maggiori che in caso di una prova di oscillazione precisa. Per le sezioni scatolari si consigliano le prove secondo la norma DIN 4114.

La sicurezza relativa all'ingobbatura può venire ottenuta anche con misure costruttive, ad esempio tramite variazione dello spessore della parete oppure con la forma del compensato o del lamellare, oppure ancora applicando dei puntelli.

Trave piegata

Trave triangolare

Struttura piegata, stabile e irrigidita grazie alla geometria

Tetto piegato in travi di legno lamellare composite

Tetto piegato radiale con travi reticolari

Volta a botte con esecuzione resistente allo scorrimento

Serbatoio di depurazione per acque reflue chimicamente aggressive

Tubi a sezione circolare per condutture e per costruzione di silos con anelli tensori in acciaio

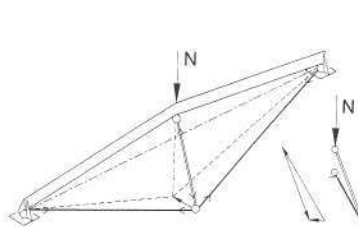
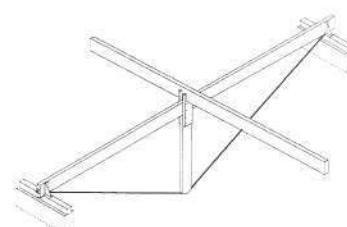
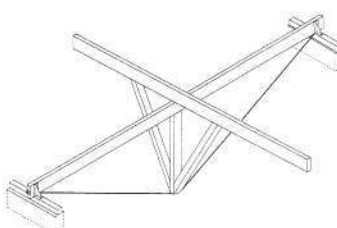
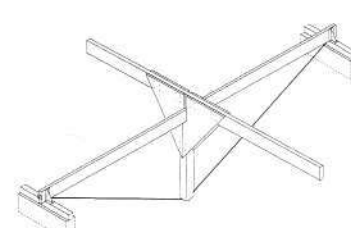
Costruzione di silos con precompressione

Trave a pesce con tirante in acciaio

Rinforzo inferiore stabilizzato con travi di colmo accoppiate

Corrente inferiore di telaio stabilizzato con tirante in acciaio

Rigidità naturale della travatura principale in prospetto

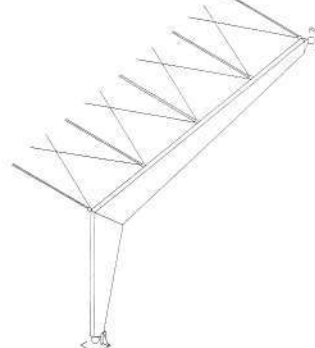
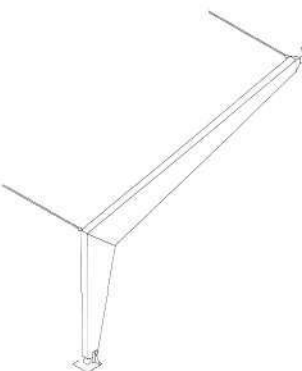
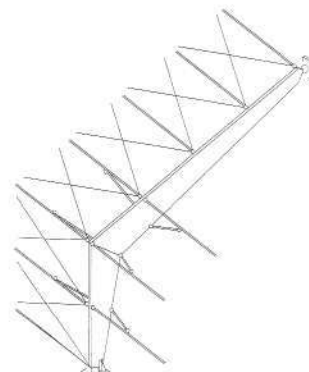
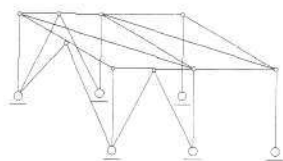
Rinforzo mediante tensori inferiori
La molteplicità dei sistemi rinforzati inferiormente è nota. Per luci grandi si rende necessario il rinforzo tramite puntoni o tensori del corrente di trazione piegato, contro lo spostamento laterale, quando la forma e le misure costruttive non sono sufficienti. Un'ulteriore possibilità è l'incastro del pilone nel corrente superiore o nell'arcareccio trasversale. Se il corrente superiore viene piegato e quindi viene creato un interasse sufficiente tra la linea del sistema del corrente superiore e l'altezza dell'appoggio, possono venire tralasciate ulteriori misure di stabilizzazione. Una sovrapposizione permanente del corrente superiore a pieno carico di 1/200 può essere considerata sufficiente.

Tiranti, telai e archi
La stabilità ovvero il carico di rottura strutturale di tiranti, telai e archi viene influenzato da molte misure costruttive e dipende dalla precisione della tecnica di esecuzione. Oltre a impedire il piegamento del piano della capriata, quindi il perìcolo di flessione del corrente superiore, occorre prestare attenzione al nodo di telaio premuto verso l'interno che è esposto al pericolo di flessione. Il momento aggiuntivo può essere calcolato in modo semplificato con l'impiego di un carico sostitutivo di H = N/100 nel nodo di telaio, nel caso in cui non venga eseguita alcuna prova più precisa.

Per lo spostamento ovvero il piegamento nel piano della capriata, può venire adottato il procedimento di asta sostitutiva secondo la norma DIN 1052 oppure la prova secondo la teoria di tensione del 2° grado. In questo caso dimensioni di taglio e deformazioni vengono determinate con carichi dei tralicci, rispettivamente Yi e. Y2, impiegando l'eccentricità indesiderata, così come la cedevolezza dell'elemento di connessione secondo la norma DIN 1052.

Tiranti delle travi reticolari

Fissaggio tramite forza antagonista

tramite incastro

tramite arcareccio

tramite trave di rinforzo

Misure contro la piegatura e la pressoflessione di un telaio a tre cerniere con sezioni a parete piena

tramite larghezza di sezione

tramite arcarecci e struttura diagonale

tramite larghezza di sezione e arcareccio di gronda

tramite arcarecci, struttura diagonale e saette agli arcarecci nel settore nodale

sistema portante triangolato in pianta e in proiezione verticale

Torre composta da tre tralicci

Forma spazialmente stabile

Tramite geometria del sistema portante principale in pianta

Tramite la geometria della travatura principale in pianta ia disposizione di detto sistema può avvenire in modo tale che si creino costruzioni reticolari orizzontali resistenti allo scorrimento, che sono in grado di sostenere, grazie all'elevata rigidità, i carichi di vento, i carichi sismici ecc. Le forze di taglio dai carichi orizzontali vanno sovrapposte a quelli verticali.

Occorre inoltre prestare particolare attenzione alla stabilizzazione della struttura principale e seguire con precisione le trasmissioni dei carichi nei tralicci e nei nodi.

Tramite geometria della travatura principale nello spazio

Per servirsi del tipo più semplice di controventamento di stabilizzazione è necessario progettare sistemi di travi principali spazialmente stabili. Vanno osservate soltanto le prove di stabilità della singola asta e occorre eseguire una prova di stabilità complessiva. Questo porta a sistemi spazialmente complessi.

Tirante di quattro cavalletti con catena, spazialmente stabile

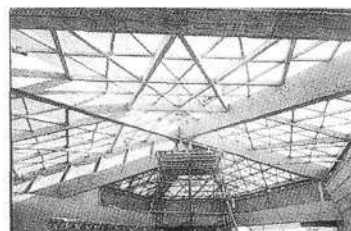
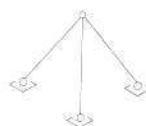
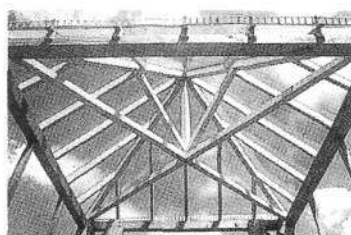
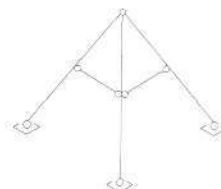
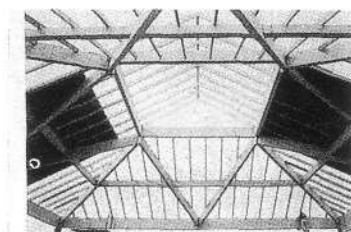
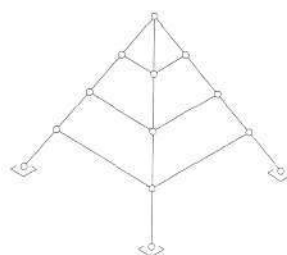
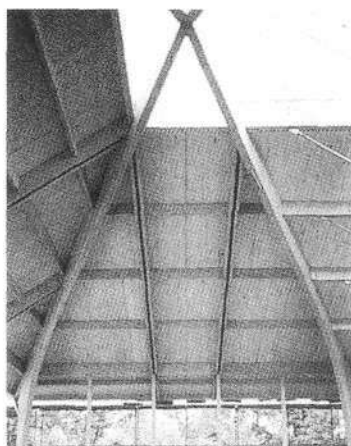
Triangolazione, reticolo 60°, montanti incastrati

Treppiedi

con catena

Piramide di tiranti

con traliccio a K

Grigliato di travi irrigidito tramite triangolazione e stabilizzato con arcarecci anch'essi disposti a triangolo

Struttura portante secondaria triangolata per la stabilizzazione delle travi principali

Piramide, stabile nello spazio

Tronco di piramide, stabile nello spazio

Telaio a quattro zoccoli, stabile nello spazio

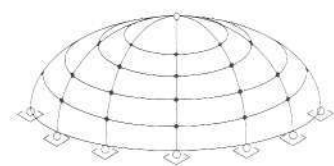
Cupola a costoloni con un anello
3 = 60m

Cupola a tiranti con un anello
d = 90m

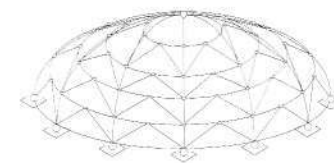
Strutture nello spazio e nel plano

Tenendo conto dell'effetto portante complessivo, quasi tutte le costruzioni in legno mostrano sistema primario, sistema secondario e sistema di irrigidimento sotto forma di struttura reticolare portante nello spazio. Una determinazione delle forze del carico di rottura strutturale ovvero delle forze di taglio vicina alla realtà consiste nell'osservare la struttura come sistema portante nel suo complesso e dare la preferenza all'uso di metodi di calcolo non lineari, mediante i quali l'ingegnere può considerare costruttivamente i valori di sicurezza di carico e di predeformazione. Le strutture portanti come sistemi staticamente non determinati al massimo grado, nei quali la cedevolezza dell'elemento di collegamento svolge un ruolo sostanziale, hanno soprattutto il vantaggio della capacità di ripartizione del carico. In questo modo il comportamento complessivo è più vicino ai carichi portanti calcolati con valori medi statici (modulo di elasticità e spostamento e resistenza alla rottura) rispetto ai valori minimi risultanti dalla tensione ammissibile secondo le probabilità per elementi strutturali o settori di struttura portante sollecitati al massimo grado. Il criterio ottimale per i sistemi portanti nello spazio e nel piano è il costo dei mezzi di connessione, per poter prendere in considerazione ad esempio forze circolari per carichi unilaterali sufficientemente rigidi, tenendo conto della cedevolezza dell'elemento di connessione per la stabilità complessiva della struttura portante.

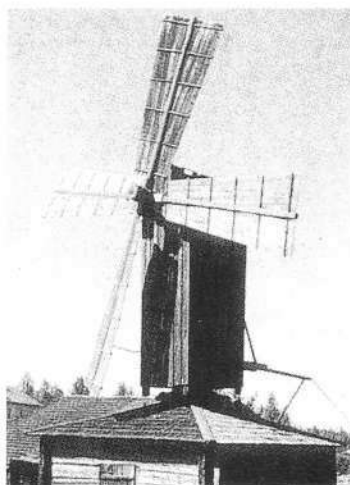
Cupola ad archi

$h = \frac{l}{50}$

Cupola a telaio

$h \approx \frac{l}{75}$

Cupola a travatura reticolare
con molti nodi
d = 130m

Prova di carico per la determinazione
dei coefficienti di inflessione
e oscillazione del fabbricato

Caratteristiche di oscillazione, duttilità e sicurezza antisismica

La problematica della cedevolezza dell'elemento di connessione ha il vantaggio di presentare una grande misura di smorzamento nei sistemi sensibili alle oscillazioni,
inoltre, grazie alla cedevolezza dell'elemento di connessione viene a essere escluso un comportamento di rottura fragile senza precedente deformazione. Con la cedevolezza dell'elemento di connessione per le costruzioni in zone sismiche, dai peso proprio ridotto, quindi con una massa oscillante ridotta, risulta una forte caratteristica di smorzamento contemporaneo.

Mulino del secolo scorso, esempio e sfida per l'ingegnere

Cupola a costoloni

$h \approx \frac{l}{100}$

Cupola a travatura reticolare

$h \approx \frac{l}{200}$

Grazie alla sua duttilità questo edificio è stabile da secoli in una delle zone più sismiche del mondo

Conclusioni

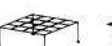
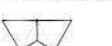
L'economicità, l'idoneità e l'affidabilità delle strutture portanti in legno dipendono sicuramente non soltanto dall'esattezza della statica. La strada verso una costruzione ottimale è invece rappresentata da una progettazione attenta della struttura portante, quindi la riflessione, la scelta di materiali, la tecnica di connessione e combinazione dei singoli sistemi portanti della struttura. Con ipotesi realistiche per le prove di stabilità, con assicurazione della qualità e con precisione dell'esecuzione, le costruzioni in legno sono una soluzione economica e competitiva. Oggigiorno esiste una grande necessità di sviluppo nel raggruppamento di ipotesi che si basano su esperienza, prove e calcoli, per poter attestare l'affidabilità di una struttura portante in legno nel modo più vicino alla realtà.
Soltanto con maggiore studio, ricerca, sviluppo e pianificazione potrà avere luogo un reale progresso.

Cupola con membrana a costoloni

$h \approx \frac{l}{300}$

Parte 4 • Esempi di strutture portanti

Julius Natterer

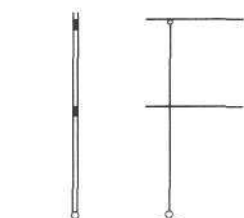
Gli esempi che seguono rappresentano una scelta di costruzioni in legno realizzate negli ultimi anni. In alcuni casi vengono mostrati progetti precedenti per evidenziarne particolari caratteristiche. La sequenza è basata sul tipo di sistema portante, iniziando dai montanti e proseguendo quindi con travi, sistemi di aste, telai, archi, graticci e strutture corrugate, per terminare con strutture nel piano e nello spazio. Nella parte finale sono presentati alcuni esempi che chiariscono l'impiegc strutturale del legno con costruzioni sottoposte a sollecitazione estrema e apparecchi molto leggeri ma dalle elevate prestazioni. Nella prima colonna delle pagine pari viene mostrato il sistema con alcune varianti, nell'ultima di quelle dispari una variante di sistema con assorbimento del carico e la deformazione in condizione di carico, mentre la colonna centrale riporta gli esempi realizzati. Sulla colonna interna di entrambe le pagine sono raffigurati dettagli relativi al sistema portante, ma non sempre è stato possibile associarli direttamente ai sistemi portanti perché molti dettagli si ritrovano in sistemi portanti diversi. Le dimensioni dei disegni de! sistema forniscono un'indicazione sulla portata ovvero sulla possibile luce a confronto.

Le indicazioni di progetto e i dati dei dettagli provengono dalle documentazioni che ci sono state messe a disposizione dai progettisti.

Le dimensioni delle strutture portanti realizzate e le possibili dimensioni del sistema si riconoscono dalle quotazioni dei progetti e dalle indicazioni di misura nelle colonne relative al sistema.

A = Austria
B = Belgio
CH = Svizzera
D = Germania
F = Francia
GB = Gran Bretagna
J = Giappone

Montanti

Montante oscillante, caricato su cerniere

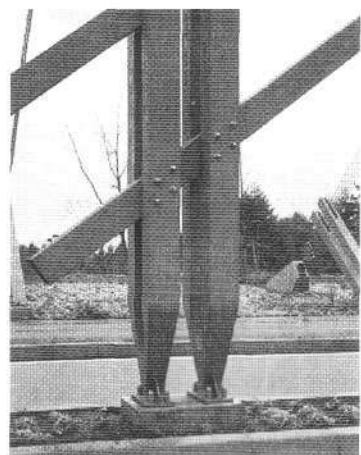
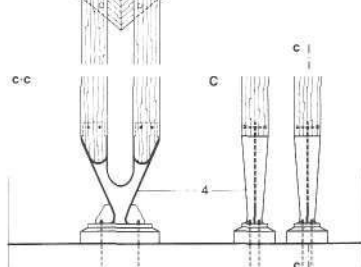
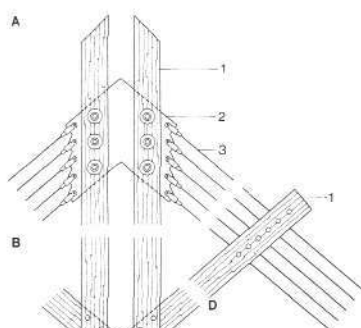
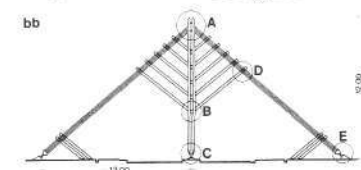
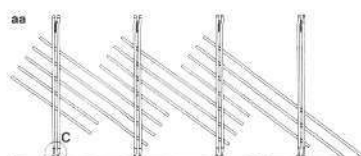
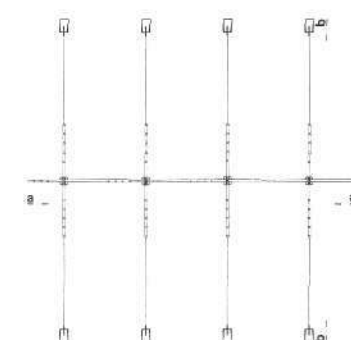
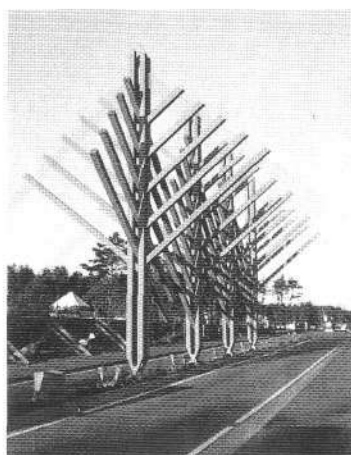
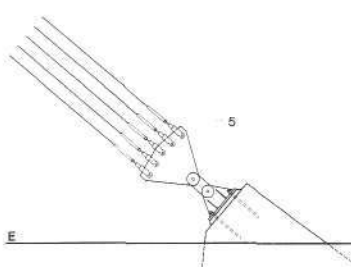
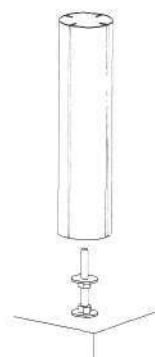
Montante con supporto intermedio articolato

Collegamento al telaio, appoggio intermedio parzialmente incastrato

1 • Portale simbolico

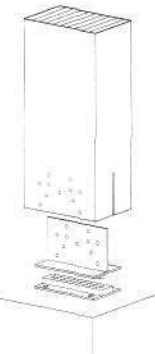
Kiyosato, Giappone; 1987

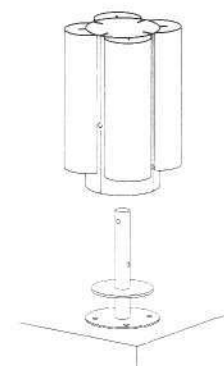
Architetti: Take-9, Tokyo

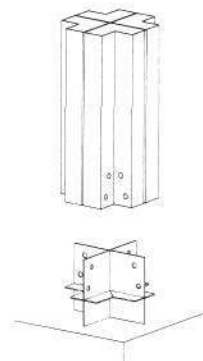
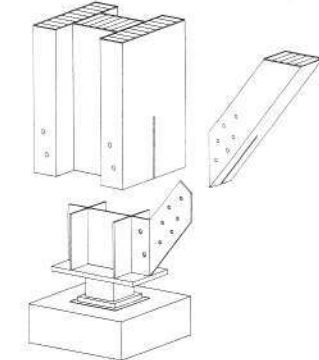
Ingegneri strutturisti:
T.I.S. e associati. Tokyo

Quattro montanti ancorati sulla striscia spartitraffico di una strada a distanza di 7 m, formano un portale simbolico per mezzo dell'ancoraggio trasversale e delle diagonali trasversali e longitudinali parallele.

I montanti alti 12 m, realizzati in legno lamellare da 21/21 cm, sono composti da quattro elementi. In direzione trasversale essi vengono fermati alla sommità tramite cavi di acciaio inossidabile. La stabilizzazione longitudinale avviene tramite una strutture di diagonali parallele di legno lamellare, due delle quali sono ancorate al suolo. Le diagonali trasversali semplici in legno lamellare sono collegate da un lato al montante, mentre dall'altro sull'estremità libera sono appese a cinque aste filettate.

1 Legno lamellare 21/21
2 Piastra di acciaio s = 4 mm
3 Cavo di acciaio Ø 19 mm
4 Base d'acciaio
5 Tensore

Base del montante

Montante caricato su cerniere, regolabile in altezza

Montante di legno a sezione quadrata, caricato su cerniere

Montante di legno a sezione quadrata, caricato su cerniere

Montante di legno lamellare, incernierato in direzione x, parzialmente vincolato in direzione y con guide di scorrimento

Base del montante

Legno a sezione circolare, composto con elemento di connessione elastico, caricato su cerniere

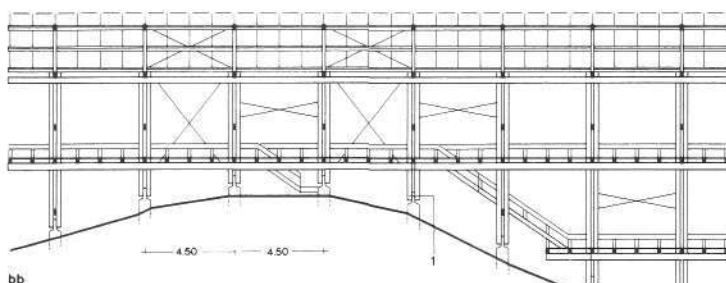
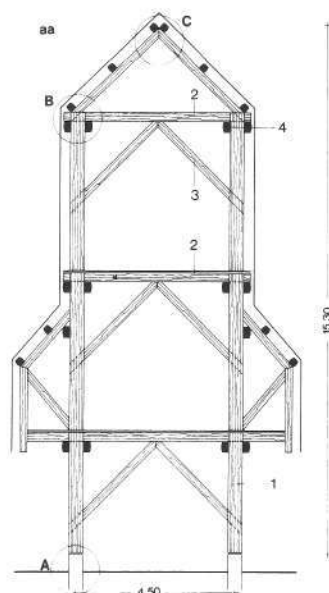
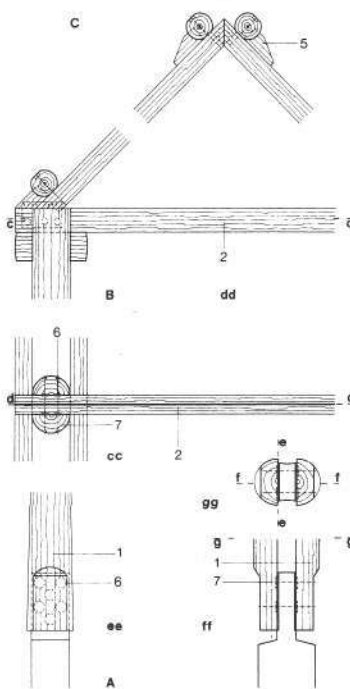
Montante in due parti in legno squadrato

Montante a croce in legno squadrato o lamellare

Montante a I in lamellare

2 • Posto di guardia forestale

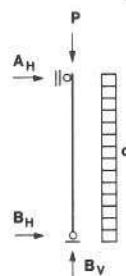
Friburgo, Germania; 1986

Architetto: H. Mohl, Karlsruhe

Ingegneri strutturisti:
Ingenieurgruppe Bauen, Karlsruhe

Costruzione in legno tondo e squadrato per un padiglione fierìstico. Edificio lungo 36 m, con telai trasversali a distanza di 4,50 m e altezza diversa a seconda del terreno. Stabilizzazione trasversale in ogni piano tramite elementi a K in legno squadrato, collegati tra i montanti doppi in legno tondo. Le rampe di scale su entrambi i lati sono sospese al telaio trasversale per mezzo di mensol e sporgenti a tre cerniere. La connessione del telaio in direzione longitudinale è ottenuta tramite elementi in legno squadrato e arcarecci in legno tondo. Collegamenti orizzontali e travi della scala ad andamento diagonale irrigidiscono reciprocamente i telai. La costruzione è parzialmente coperta da un tetto di vetro.

1 Montanti Ø 40-49 divisi a metà
2 Ritti 2 × 9,5/25
3 Diagonali 20/20
4 Ritti 8,5/30
5 Mensola
6 Connettore Geka
7 Bulloni M 12, M 24

Montanti oscillanti

Lunghezza libera a pressoflessione $S_K = l$

Grado di snellezza $\lambda = \frac{S_K}{l}$

Carichi: carico verticale concentrato P carico orizzontale uniformemente distribuito q

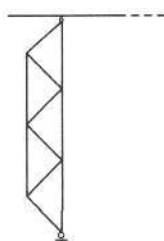
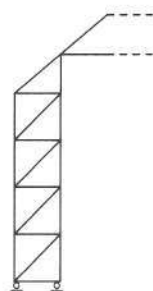
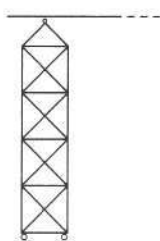
Deformazione:
$$\max v = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot EJ}$$

Momento: $\max M = \frac{q \cdot l^2}{8}$

Sforzo di taglio: $\max V = q \cdot \frac{l}{2}$

Sforzo normale: $N = P$

Montanti a struttura reticolare

caricato su cerniere
con controventatura

caricato su cerniere con diagonali

incastrato, con traverse e diagonali

incastrato, con traverse e diagonali
a croce

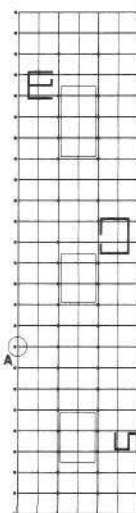
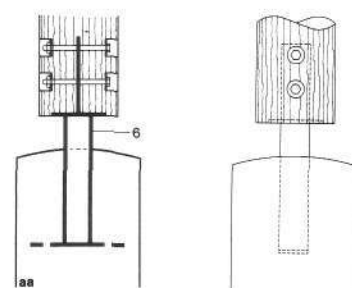
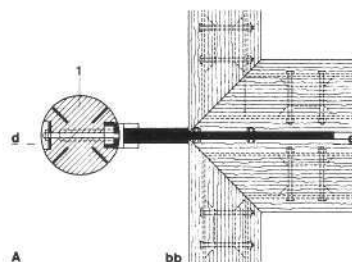
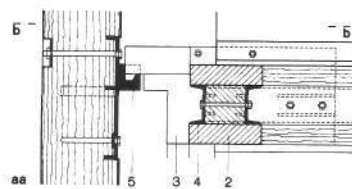
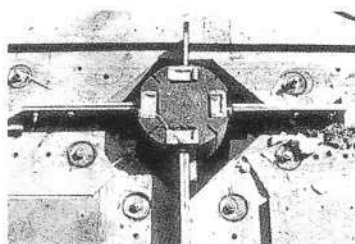
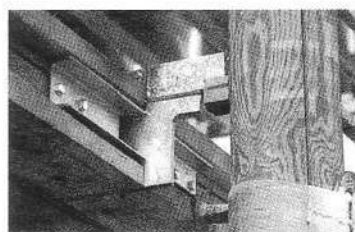
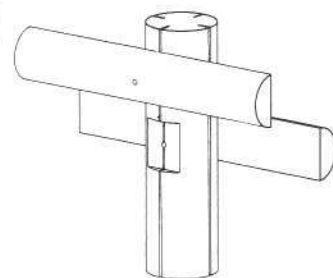
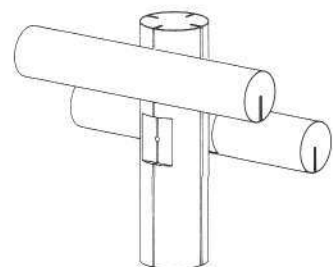
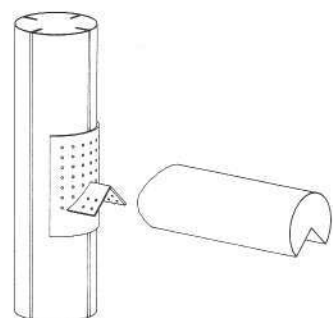
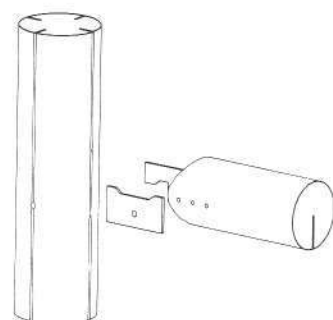
3 • Edificio per uffici

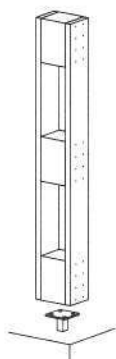
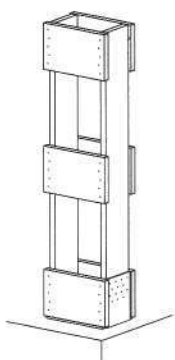
Chàlons-sur-Marne. Francia; 1989

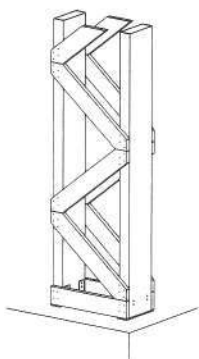
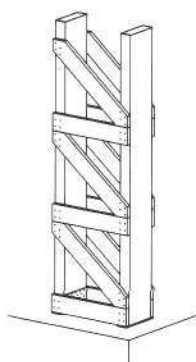
Architetto: R. Schweitzer, Parigi

Ingegnere strutturista: Robert Lourdin, Parigi;
Consulenza: Natterer Bois-Consult, Etoy, Svìzzera

Gli edifici sono composti da un reticolato rettangolare di 4 x 8 m, (ormato da colonne di legno e rompitratta composti. Le sezioni trasversali a forma di I composte di legno squadrato e profili di acciaio a U nei punti di intersezione sono collegate a coppie alle colonne per mezzo di mensole di acciaio. In queste modo i montanti di estremità sono posti liberi davanti alla facciata. Le solette dei piani sono state realizzate in struttura mista. Il pannello cementato a cassaforma persa resistente a scorrimento è quindi collegato mediante connettori alle travi di legno, in modo che le forze di trazione vengano assorbite dal legno. La deviazione delle tensioni orizzontali avviene tramite le lastre delle pareti, formate da elementi prefabbricati in pannelli di legno e tramite le parti in muratura dell'edificio.

1 Montante a sezione circolare Ø 25 cm
2 Trave composta
3 Lamiera d'acciaio
4 Profilo a U
5 Mensola di metallo
6 Tubo di acciaio Ø 10 cm

Appoggio trave-montante

con vite calibrata e bullone
di serraggio

con spina

con angolo di appoggio inchiodato

con gancio

Montanti a telaio

caricato su cerniere con elementi lignei intermedi

caricato su cerniere con elementi di collegamento in legno

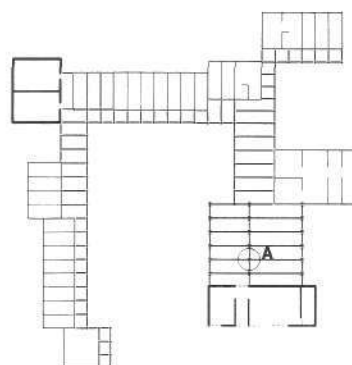
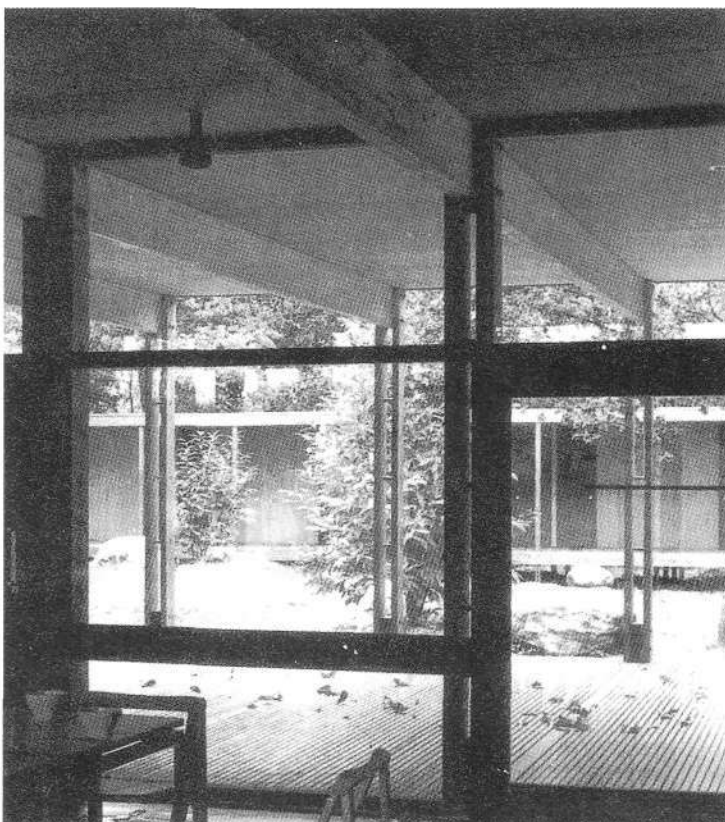
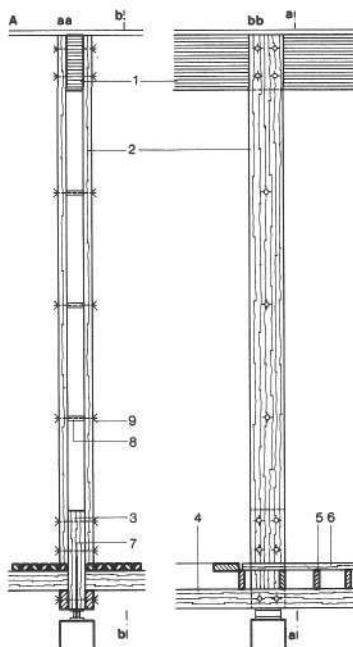
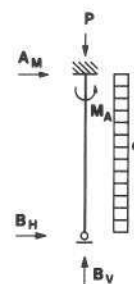
Montanti a traliccio

caricati su cerniere o incastrati con diagonali chiodate

caricati su cerniere o incastrati con diagonali ed elementi di collegamento

4 • Villaggio di vacanze per giovani

Cieux. Haute-Vienne, Francia; 1985

Architetto: R. Schweitzer, Parigi

Ingegneri strutturisti:
R. Weisrock S.A., Saulcy-sur-Meurthe, Francia

Una costruzione a un piano, con ossatura in legno, costituisce il sistema strutturale del centro di vacanza giovanile. I montanti oscillanti in legno, liberi, assorbono le tensioni verticali del solaio di legno e dei tetto piano. Le travi principali in legno lamellare sono disposte perpendicolarmente alla facciata e fungono da travi a una o due campate, che vengono racchiuse dalle travi di estremità tra i montanti a formare un reticolo rettangolare. Arcarecci a I danno-origine a travi scatolari isolate, che sono collegate al lato superiore e inferiore tramite pannelli in fibra di legno. La deviazione dei carichi orizzontali avviene tramite elementi di parete resistenti allo scorrimento e tramite le parti in muratura dell'edificio.

Montante incastrato alla sommità

Carichi:
carico verticale concentrato P,
carico orizzontale uniformemente distribuito q

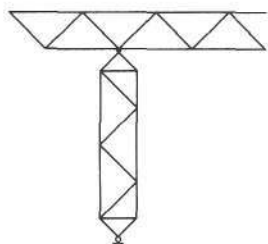
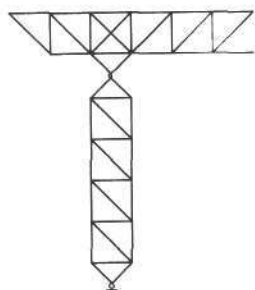
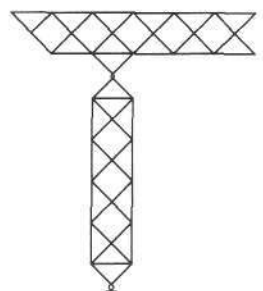
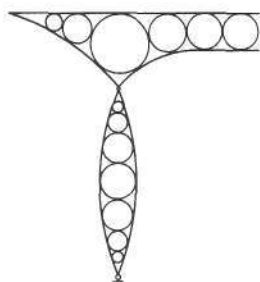
Deformazione: $\max v = \frac{q \cdot l^4}{184,6\ EJ}$

Momenti: $\min M = -\frac{q \cdot l^2}{8}$

$\max M = \frac{q \cdot l^2}{14,22}$

Sforzo di taglio: $\max V = \frac{5}{8} \cdot q \cdot l$

Sforzo normale: $N = P$

Montanti reticolari

con diagonali, caricati su cerniere

con diagonali e traverse, caricati su cerniere

con rombi, caricati su cerniere

con anelli, caricati su cerniere

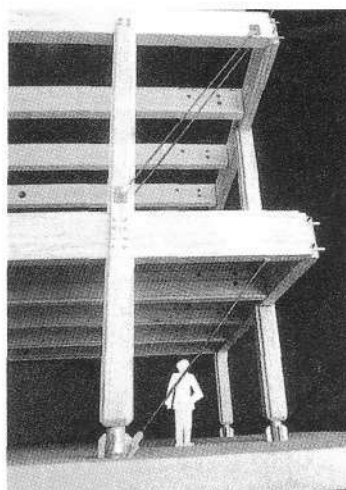
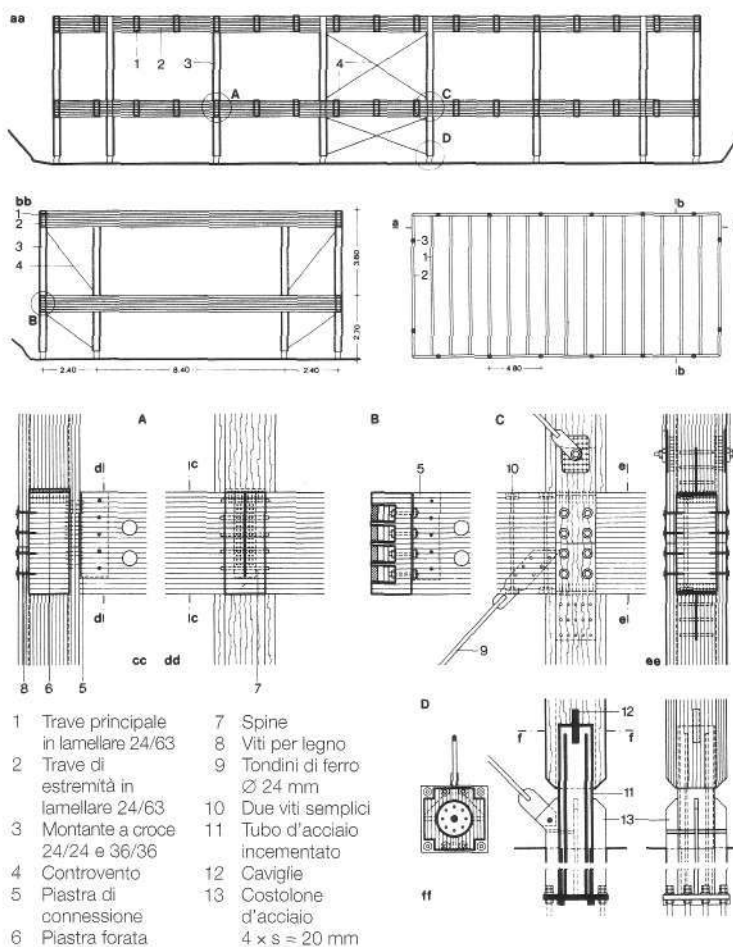
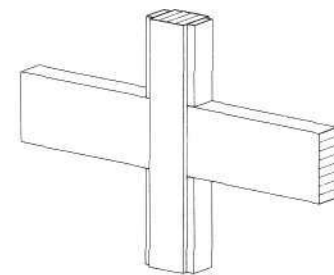
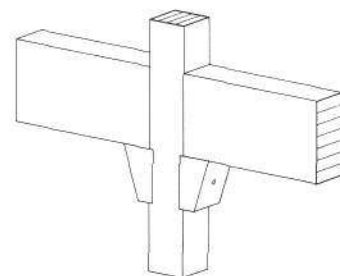
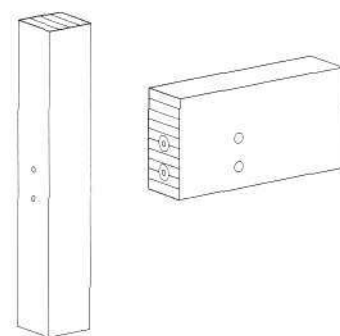
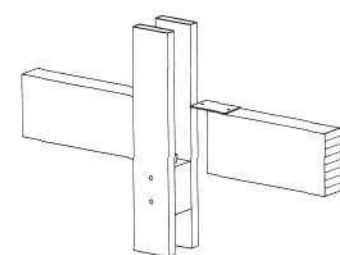
5 • Edificio per uffici

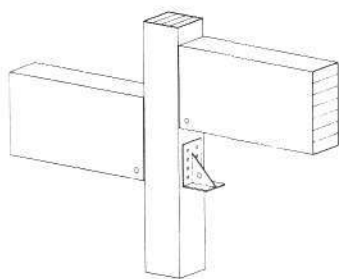
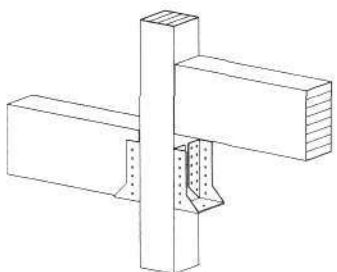
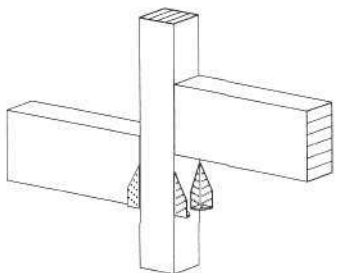
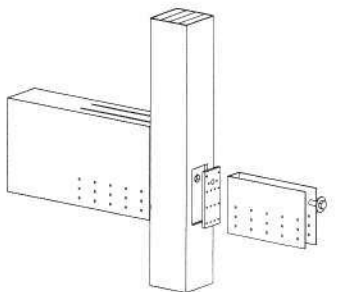
Monaco. Germania; 1978

Architetti: E, Fahr, A. Fahr-Deistler, Monaco

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterere Dittrich, Monaco

Una costruzione a ossatura in legno con vani per uffici è edificata sopra una superficie per parcheggio di 14 x 30 m. I montanti a croce in legno sono disposti sui lati esterni a distanza di 4,8 m e sono attraversati da travi longitudinali continue in lamellare che sostengono, come travi di estremità, la costruzione della soletta. Quest'ultima consiste in un'architravata in legno lamellare a distanza di 1,8 m e tavole a doppia scanaiatura spesse 40 mm. La costruzione de! tetto è improntata sullo stesso reticolo ed è dimensionata per un ulteriore piano superiore. L'intera struttura portante principale soddisfa la classe di resistenza ai fuoco F 90-B; la cessione dei carichi orizzontali in direzione longitudinale e trasversale avviene tramite controventi verticali composti da diagonali di acciaio.

1 Trave principale in lamellare 24/63
2 Trave di estremità in lamellare 24/63
3 Montante a croce 24/24 e 36/36
4 Controvento
5 Piastra di connessione
6 Piastra forata
7 Spine
8 Viti per legno
9 Tondini di ferro ∅ 24 mm
10 Due viti semplici
11 Tubo d'acciaio incementato
12 Caviglie
13 Costolone d'acciaio 4 × s = 20 mm

Appoggio trave-montante

su elementi lignei laterali

su mensola

con spina nel legno di testa

su legno intermedio

Appoggio trave-montante

su angolare d'acciaio

su staffa d'acciaio

su staffa triangolare

avvitato

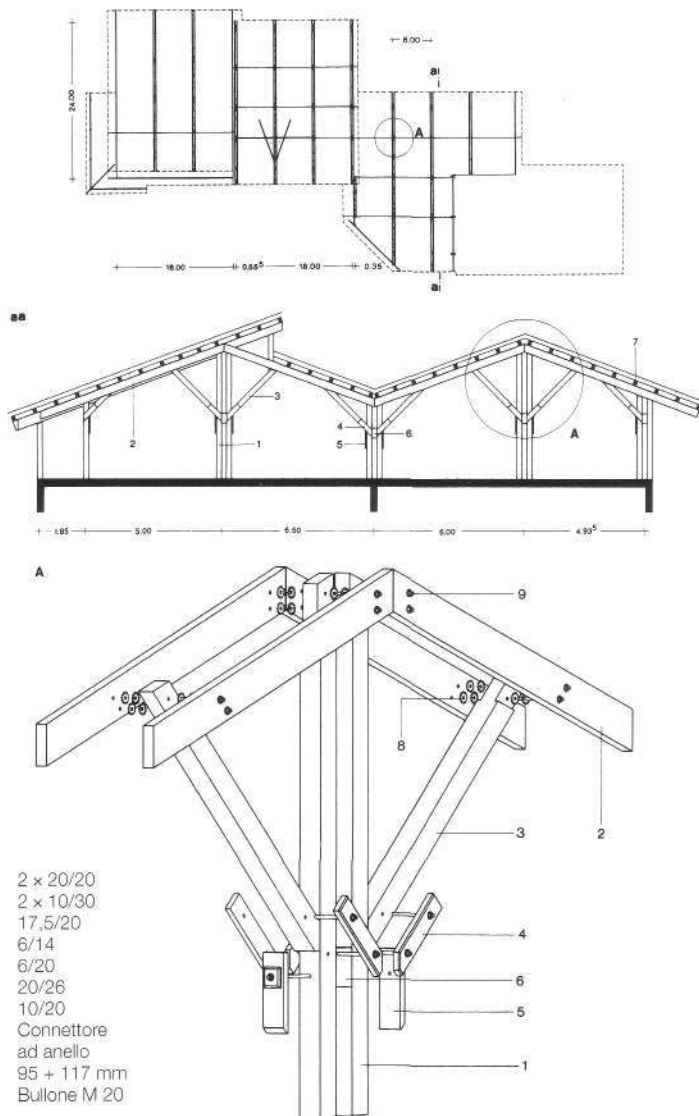
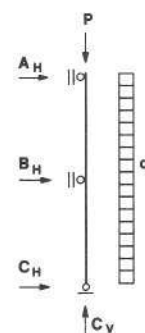
6 • Penitenziario

Wauwilermoos, Svizzera; 1983

Architetti: Forum Architektengruppe AG, Lucerna

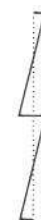
Ingegnere strutturista: H. Banholzer, Lucerna

Penitenziario con annessa azienda agricola. Sistema di travi principale composto da capriate a tenaglia sostenute da montanti con contraffisso. Distanza tra le capriate 6 m. Tutte le parti sono realizzate in legno lamellare.

Sistema di travi secondario costituito da travi Gerber continue. Stabilizzazione della costruzione per mezzo di strisce di lamiera inchiodate al tavolato del tetto e disposte come capriate reticolari orizzontali. Le terzere fungono da correnti, i travetti da aste compresse e le strisce di lamiera da diagonali tese. I contraffissi dotati di dente di incastro sono collegati ai montanti per mezzo di coprigiunti incollati. Le altre connessioni sono effettuate mediante connettore ad anello. L'assorbimento dei carichi del vento e di altri carichi orizzontali è svolte dai muri in cemento e dai contraffissi dei montanti.

Asta oscillante con appoggio orizzontale intermedio

Carichi: carico verticale concentrato P
carico orizzontale uniformemente distribuito q
Lunghezza libera a pressoflessione: $S_k = l$

Deformazione: $\max v = \frac{q \cdot l^4}{185\,EJ}$

Momento: $\min M = -\frac{q \cdot l^2}{8}$

$\max M = \frac{q \cdot l^2}{14{,}22}$

Sforzo di taglio: $\max v = \frac{5}{8} \cdot q \cdot l$

Sforzo normale: $N = P$

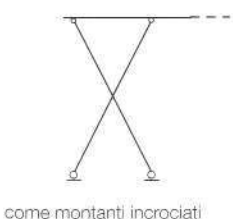
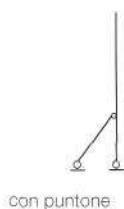
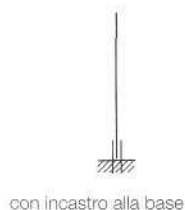
Montanti incastrati

con incastro alla base

con puntone

come cavalletto asimmetrico

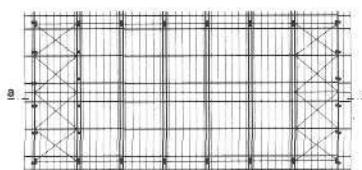
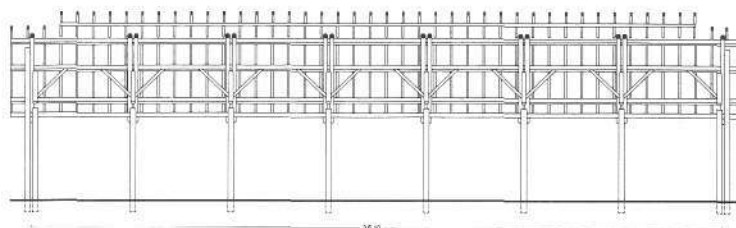
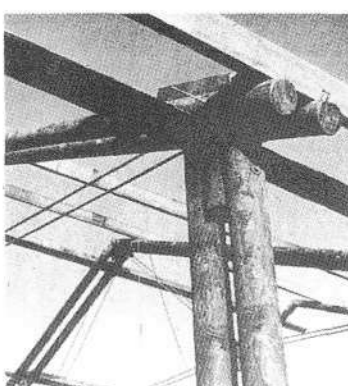
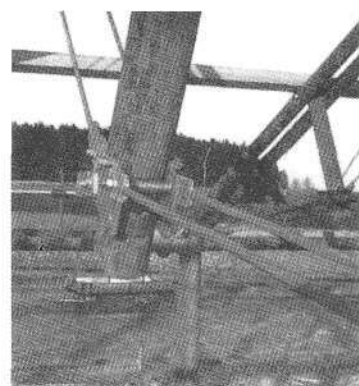
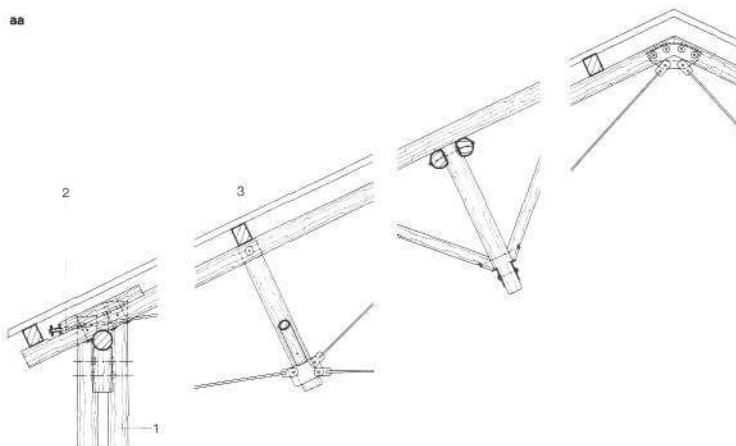
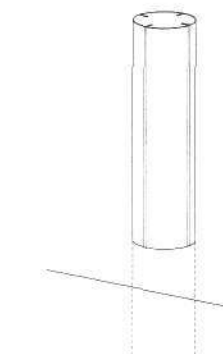
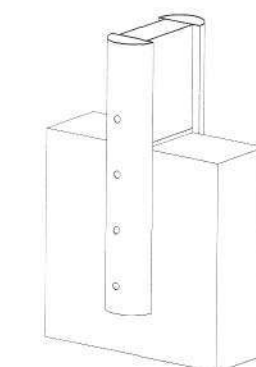
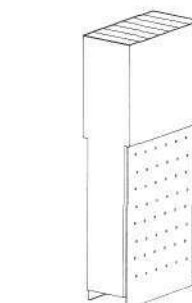
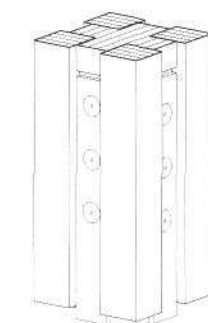
come cavalletto simmetrico

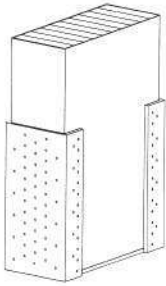
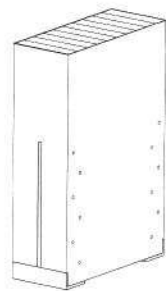
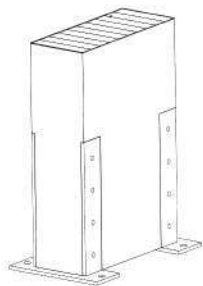
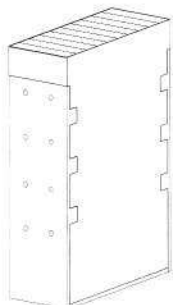
come montanti incrociati

7 • Maneggio coperto

Garnzell, Germania; 1988

Architetto: K. Hitzler, Monaco

Ingegnere strutturista:
K. Neumaier, Landshut

Maneggio realizzato secondo il metodo a pali con capriate in legno tondo rinforzate da tiranti. Caratteristico di questo sistema è il fatto che i montanti sono incastrati direttamente nel terreno per mezzo di un rivestimento in calcestruzzo. In questo modo la stabilizzazione trasversale è assicurata. Le capriate con doppie corrente in legno tondo sono rinforzate da puntoni in legno a sezione circolare e tiranti doppi in tondino d'acciaio. Essi sono disposti a intervalli di 5,18 m e come travi a una campata si estendono per 16,4 m. I montanti sospesi sono collegati agii arcarecci tramite contraffissi che provvedono anche a fissarli lateralmente. Tra le capriate gli arcarecci in legno squadrato sostengono uno strato di travetti di legno sopra il quale un assito con incannicciata e tegole di cemento forma la struttura del tetto. L'irrigidimento in direzione longitudinale è assicurato da tralicci a croce.

1 Montanti
2 × ∅ 30
2 Trave principale
2 × ∅ 22
3 Arcareccio
∅ 18/22

aa

Incastro del montante

incementato

con elementi lignei laterali

con coprigiunti chiodati

con coprigiunti incavicchiati

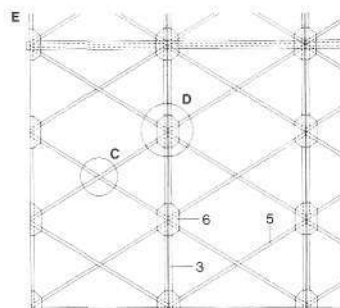
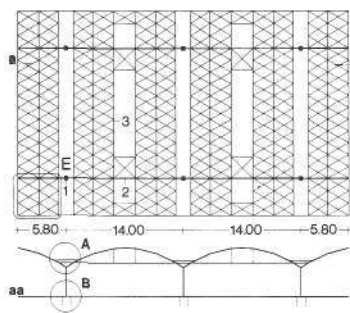
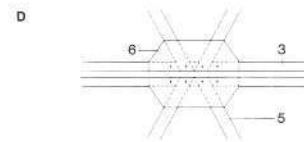
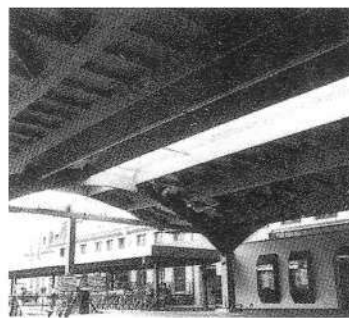
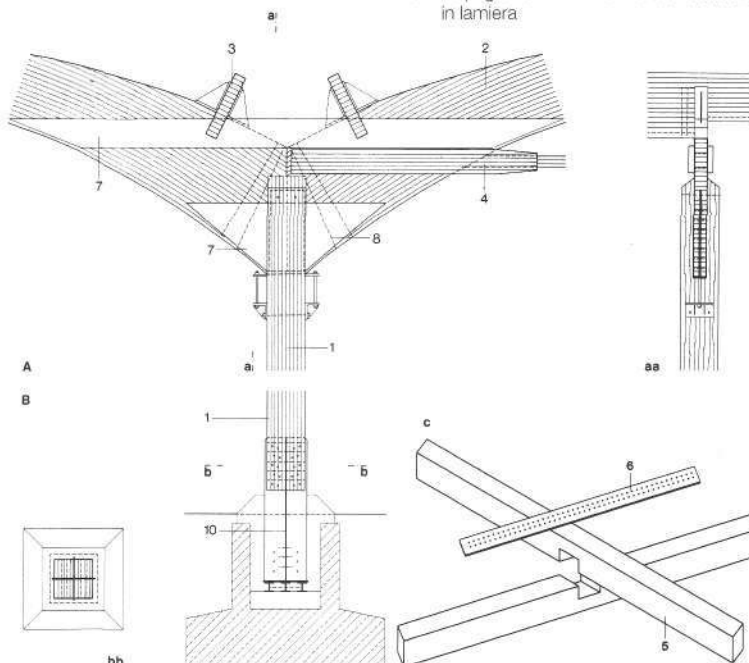
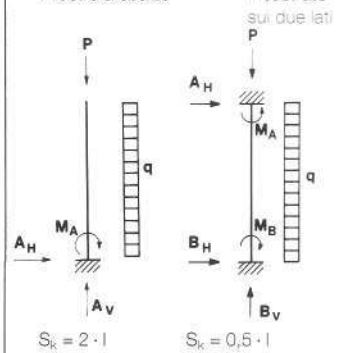
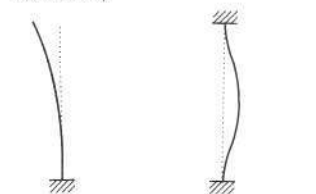
Incastro dei pilastri

con profili chiodati

anima intagliata e incavicchiata

incavicchiato con coprigiunti di acciaio posti verso l'esterno

collegato con connettori piani in acciaio

8 • Tettoia di marciapiede ferroviario

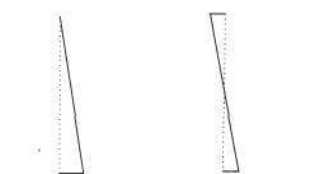
Lindau, Germania: 1983

Architetto:
Ufficio tecnico delle ferrovìe federali, Monaco

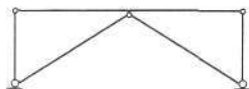
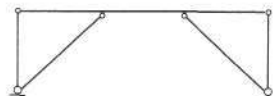
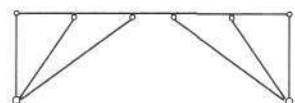
Ingegnere strutturista:
W. Hàussler, Kempten

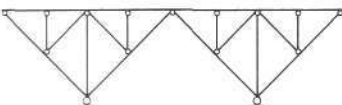
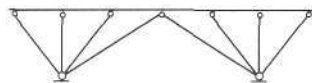
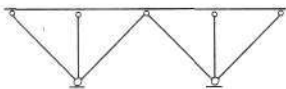
La struttura portante principale della costruzione è composta da sei pilastri di legno incastrati nelle fondamenta e disposti su due file. Sopra di essi poggiano quattro capriate ad arco e quattro pensiline a semiarco. Le travi ad arco hanno sezioni trasversali variabili da 14/45 a 115 cm e un tirante in legno da 14/17 cm, Il quale è collegato alla trave per mezzo di due coprigiunti di legno da 6/30 cm. Perpendicolarmente al sistema di travi principaii sono disposti arcarecci in lamellare costituiti da travi continue poste a intervalli di 2,72 m sulle quali sono posati elementi di tetto prefabbricati piani consistenti in arcarecci uniti mediante giunti e disposti a rombo, i quali sostengono l'assito de! tetto. Gli elementi, grazie alla rigidità propria, fungono da irrigidimento orizzontale del piano del tetto. Uno strato di cartone e la copertura in lamiera di rame completano la struttura dei tetto. Il particolare costruttivo più importante è la connessione con profilo a sbalzo dei semiarchi esterni. Qui sono stati applicati coprigiunti di acciaio addizionali che fungono da organi di ancoraggio. I nodi del telaio sono ulteriormente irrigiditi per mezzo di perni filettati incollati e di un angolare in ferro intagliato.

1 Pilastro in lamellare 40/40
2 Capriata ad arco

3 Arcareccio in lamellare
4 Tirante in legno con coprigiunti
5 Travetto con giunto coperto
6 Coprigiunto in lamiera
7 Piastra d'acciaio s = 4 mm
8 Perno filettato M 16
9 Neoprene 15 mm
10 Croce d'acciaio

Struttura portante

Carico:
carico concentrato verticale P
carico orizzontale uniformemente distribuito q

Deformazione:
$\max v = \frac{q \cdot l^4}{8 E J}$ $\max v = \frac{q \cdot l^4}{384 E J}$

Momento: $\max M = \frac{q \cdot l^2}{24}$

$\min M = \frac{q \cdot l^2}{2}$ $\min M = \frac{q \cdot l^2}{12}$

Sforzo di taglio:
$\max V = q \cdot l$ $\max V = q \cdot \frac{1}{2}$

Sforzo normale: N = P

Struttura spingente semplice

con due puntoni diagonali

con due puntoni diagonali

con quattro puntoni diagonali

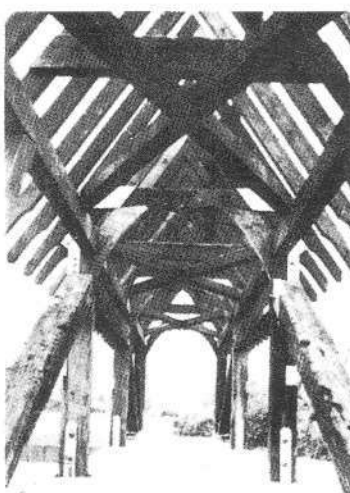
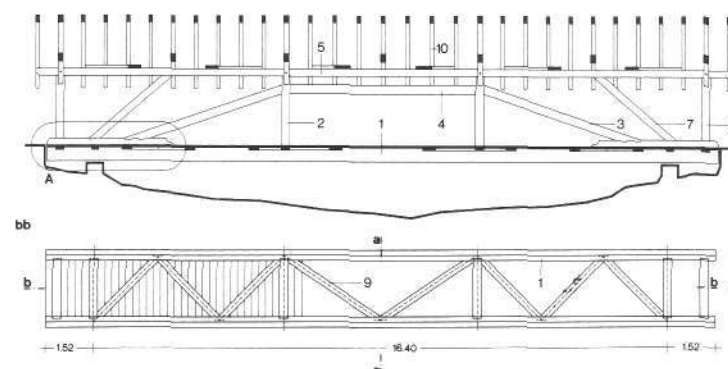
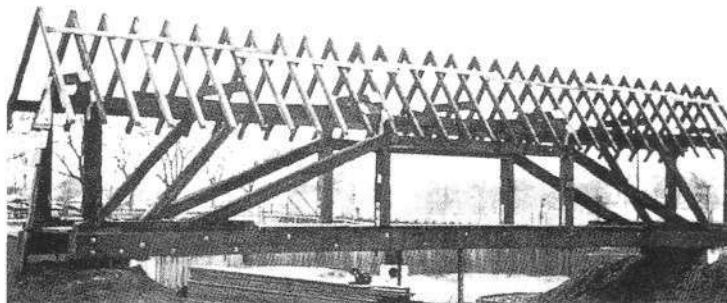
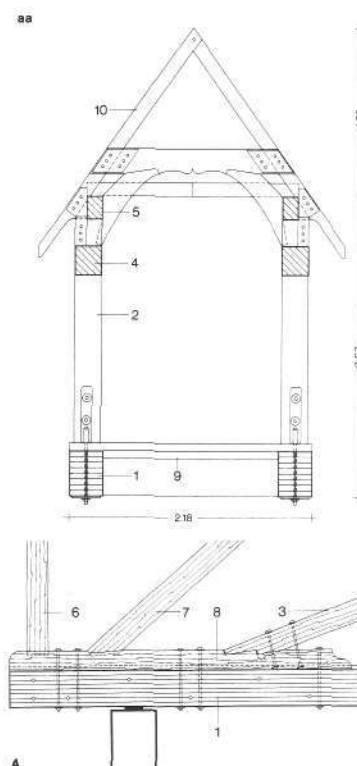
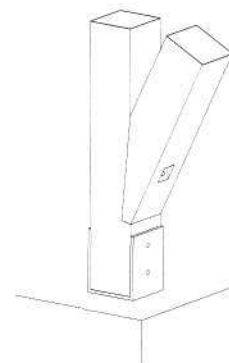
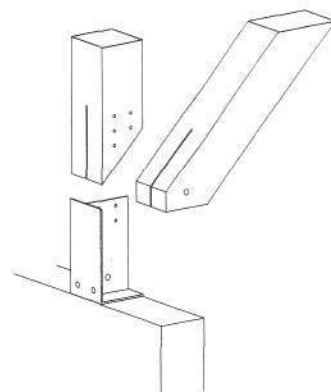
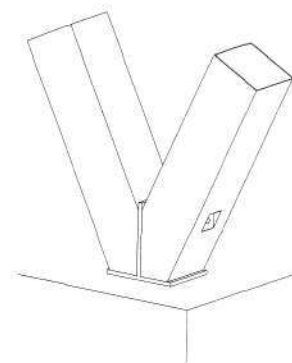
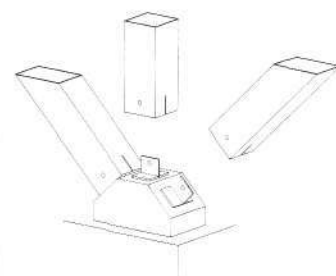
Travi a contraffissi come sistema continuo

9 • Ponte pedonale sul fiume Alb

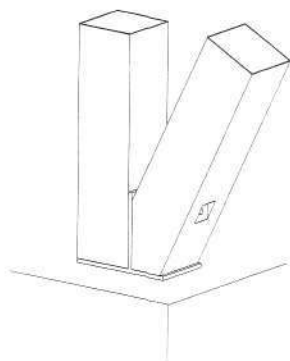
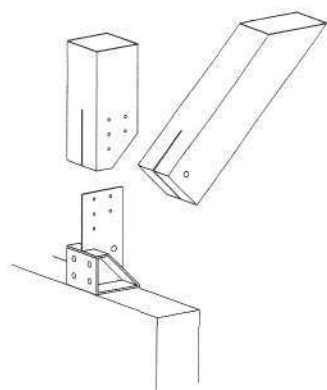
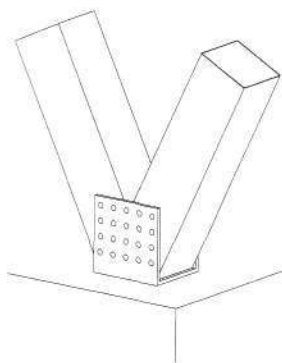
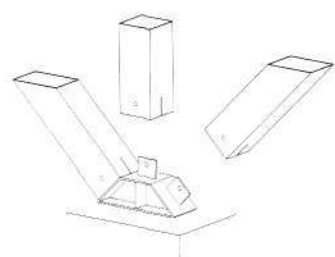
Germania; 1905/77

Architetto: H. Walcler

Restauro: R. Arndt, J. Vogeley

Ingegnere strutturista: F. Wenzel, Karlsruhe

Il ponte di legno, realizzato nel 1905, venne smontato in occasione di uno spostamento, quindi restaurato e rimontato. Vennero sostituite le travi trasversali, inoltre furono rinforzate le connessioni nodali e fu rinnovata la costruzione del tetto. Le due travi principali sono conformate come capriate combinate a tiranti e puntoni rinforzati e sono composte da diagonali compresse, rompitratta, montanti di sospensione e travi trasversali, che sostengono in direzione trasversale tavoloni doppi da 7/20 cm. L'irrigidimento orizzontale è svolto da controventi sotto l'impalcato e nel piano del tetto. La deviazione delle tensioni di appoggio del controvento superiore avviene tramite portali conformati come telai a due cerniere. La copertura è una costruzione del tetto a capriata semplice.

1 Trave trasversale 2 × 15/40
2 Montante di sospensione 24/24
3 Diagonale compressa 24/24
4 Rompitratta 24/24
5 Arcareccio inferiore 14/20
6 Montante 24/24
7 Diagonale compressa 14/20
8 Raddoppio 24/22
9 Tessitura a K 7/20
10 Falso puntone 10/12

Connessioni dei puntoni diagonali

con incastro

con lamiera intagliata

con angolare a T

con profilo a T intagliato

Connessioni di puntoni

con angolare a T

con lamiera intagliata e piattabanda

con lamiera forata chiodata

con lamiera intagliata

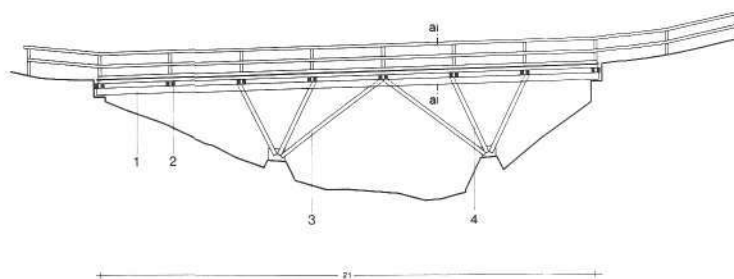
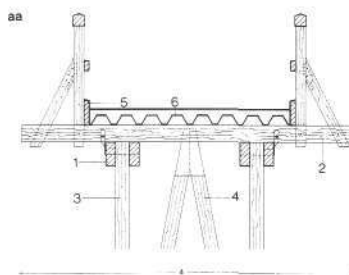
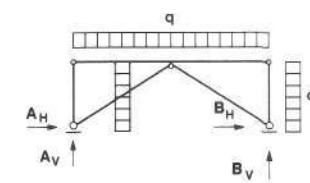
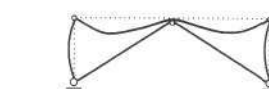
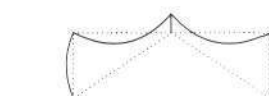
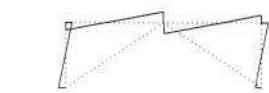
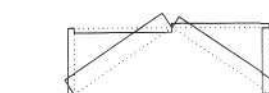
10 • Ponte

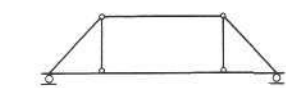
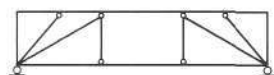
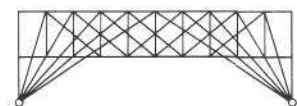
Stròbing, Germania; 1978

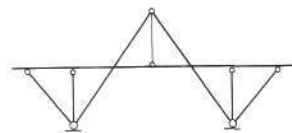
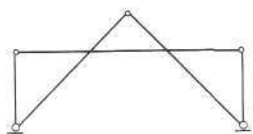
Architetto: Ufficio tecnico delia Finanza Rosenheim

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterere Dittrich, Monaco

11 ponte in legno massello lungo 21 m venne costruito per una pista di sci a rotelle. Puntoni di appoggio a V e puntoni inclinati in piano nella campata centrale formano una struttura spingente semplice per sostenere le travi longitudinali. Le travi longitudinali principali, composte da travi a tenaglia alte 28 cm, fungono da travi continue a campata, con giunzione a metà lunghezza. Sopra di esse, a distanza di 3 m, sono poste traverse doppie. I montanti del parapetto sono sostenuti alle sporgenze dei due lati da diagonali di legno. Il piano stradale con struttura mista di cemento armato con lamiera trapezoidale irrigidisce il ponte in direzione trasversale. I punti fissi orizzontali vengono formati dai piedritti e dagli elementi di irrigidimento a K attraverso i montanti centrali.

1 Trave principale 2 × 12/28
2 Trave secondaria 2 × 12/20
3 Puntone 16/16
4 Elemento a K 16/16
5 Lamiera zincata s = 1 mm
6 Lamiera trapezoidale incementata

Struttura spingente semplice

Carico: carichi orizzontale e verticale uniformemente distribuiti

Deformazione

Andamento dei momenti:
il corrente superiore può venire calcolato come trave a due campate e appoggio intermedio elastico

Andamento dello sforzo di taglio

Andamento dello sforzo normale

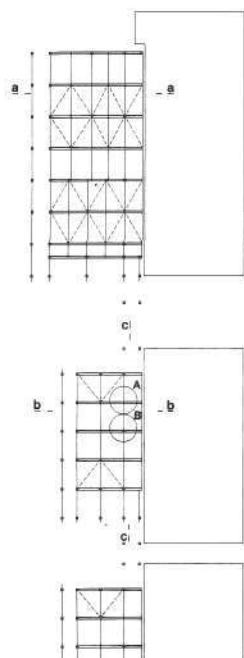
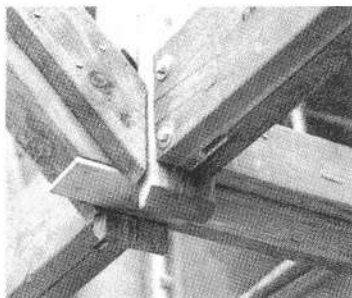
Strutture sospese

doppia

multipla

multipla sollevata

Sistema combinato di struttura spingente e sospesa

11 • Casa di vacanza per malati di mente

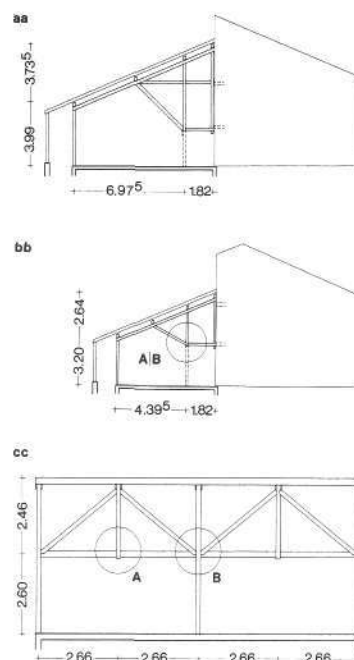
Genolier, Svizzera; 1988

Architetto:
P.-A. Renaud, Ginevra

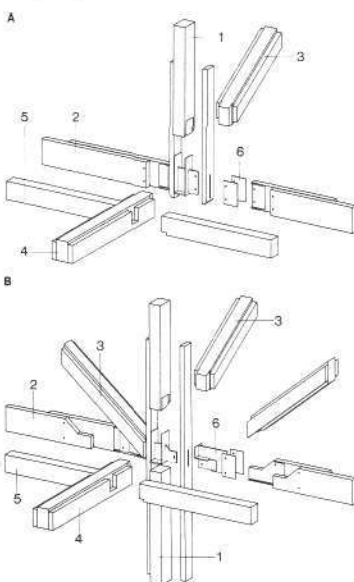
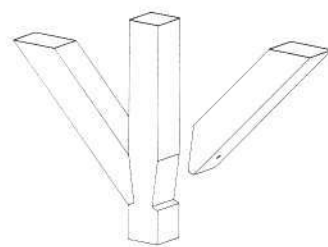
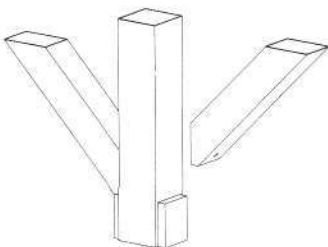
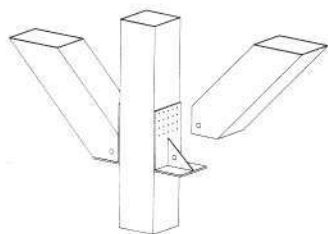
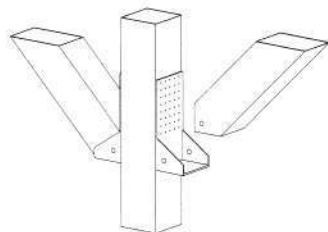
Ingegneri strutturisti:
F. Herrera, Ginevra
Natterer Bois-Consult, Etoy, Svizzera

Complesso composto da un edificio principale con tre segmenti per alloggi, allineato lungo una galleria che percorre il primo piano.
Il sistema portante è rinforzato con puntoni e tiranti che sostengono i carichi degli arcarecci longitudinali. Ogni due assi di capriata sono disposti i montanti centrali, che, tramite un puntone posto nel piano, assorbono i carichi del puntone centrale e per mezzo di un sistema spingente semplice assorbono in direzione longitudinale i carichi derivanti dagli assi delle capriate prive di montante.
I carichi orizzontali dei puntoni vengono convogliati nella soletta del piano del tratto in muratura. Lo strato di arcarecci sulle capriate sostiene i falsi puntoni e la struttura del tetto. La copertura del tetto è realizzata in pannelli di fibrocemento. Siccome I carichi del vento sono ridotti, è possibile un irrigidimento tramite tavole posate in diagonale e avvitate sotto l'assito del tetto. La connessione avviene principalmente per mezzo di semplice chiodatura. In caso di carichi maggiori, il rinforzo della connessione è con piastre chiodate applicate non a vista. Vantaggi: elevata percentuale di elementi prefabbricati e veloce montaggio. Tutti gli elementi di legno a vista sono in lamellare di larice segato e non piallato. Falsi puntoni e rompitratta della facciata sono di abete rosso impregnato a immersione.

aa

bb

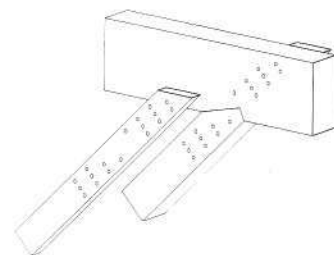
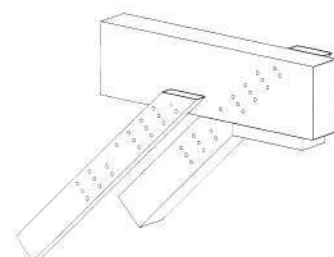
cc

1 Montanti 10/14 + 2 × 4/10
2 Rompitratta 2 × 5/20
3 Puntone 10/14 + 2 × 4/10
4 Rompitratta 10/16 + 2 × 4/14
5 Travetto 10/14
6 Lamiera s = 5 mm s = 10 mm

A

B

Connessioni di contraffissi

con incastro

con mensole

con angolare intagliato

con staffa di acciaio

Connessioni contraffisso e puntone

con coprigiunto

con incastro

con coprigiunto di legno e incastro

con coprigiunto di legno e mensola

12 • Alloggiamenti per le truppe

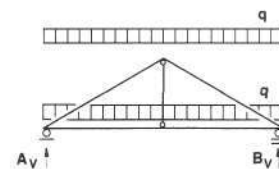
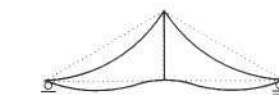
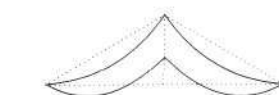
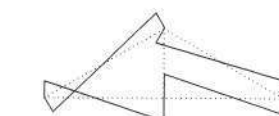
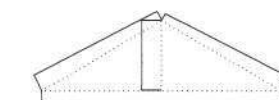
La Lécherette, Svizzera; 1986

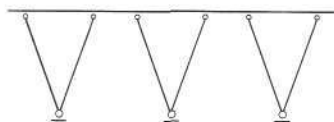
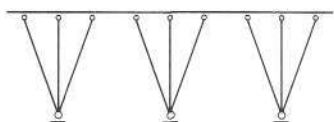
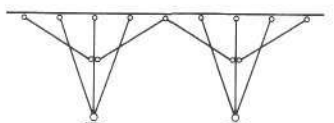
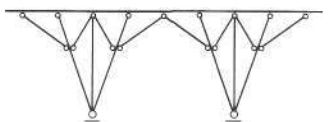
Architetti: R. Lack, LaTour-de-Peilz, Svizzera
Ufficio federaie per l'edilizia, Losanna

Ingegneri strutturisti:
Natterer Bois-Consult, Etoy, Svizzera

Tre ali di edificio con tetto a due falde. Nell'ala ovest travi rinforzate da puntoni. Travatura principale 1 : sezione trasversale doppia, interasse 5,50 m; su montanti di facciata in legno con puntoni esterni e pilastri di cemento armato interni con puntoni appoggiati. Travatura principale 2: sezione semplice, su montanti di facciata in legno e struttura spingente con andamento in direzione del colmo, che convoglia i carichi nei pilastri dì cemento armato. Nel piano delle travi tra i pilastri croce di Sant'Andrea per l'assorbimento dei carichi asimmetrici. Irrigidimento in direzione del colmo per mezzo di struttura spingente semplice, in direzione trasversale al colmo per mezzo di puntoni sui montanti di facciata. Appoggio su pilastri di cemento mediante mensole di acciaio. Punti nodali della croce di Sant'Andrea: trasmissione delle forze di compressione direttamente tramite elementi in compensato di legno duro, dello sforzo di trazione mediante pannelli chiodati. Travatura secondaria sotto forma di arcarecci continui. Tutti gli elementi lignei sono in lamellare.

1 Trave principale 1
2 Trave principale 2
3 Struttura spingente semplice
4 16/36
5 2 × 12/20
6 16/20
7 Nucleo di compensato s = 12 cm
8 Lamiera di acciaio
9 Tirante di acciaio
10 Mensola di acciaio

Struttura sospesa semplice

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito su corrente superiore e inferiore

Deformazione:

Andamento dei momenti

Andamento dello sforzo di taglio

Andamento dello sforzo normale

Struttura a puntoni

con montanti a V

con montanti a V e puntelli

combinazione di puntoni e contraffissi

contraffisso multiplo e puntoni

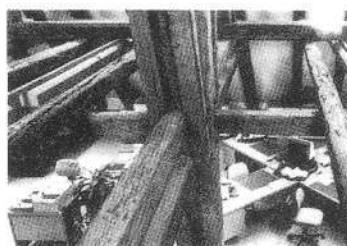
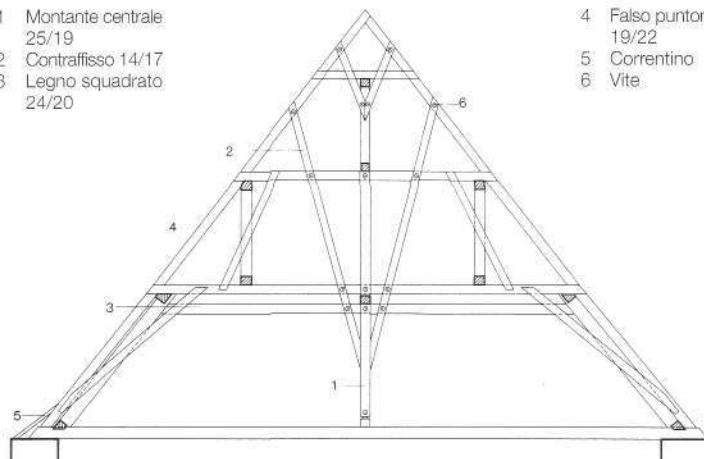
13 • Cassa di risparmio

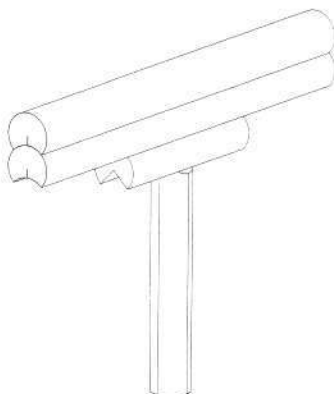
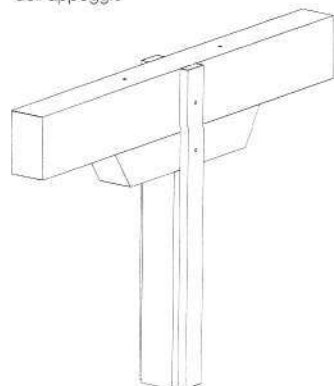
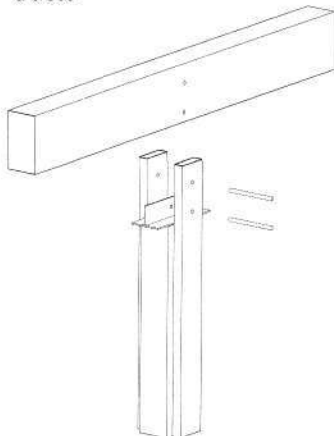
Straubing, Germania; 1983

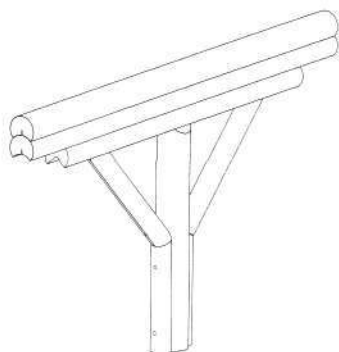
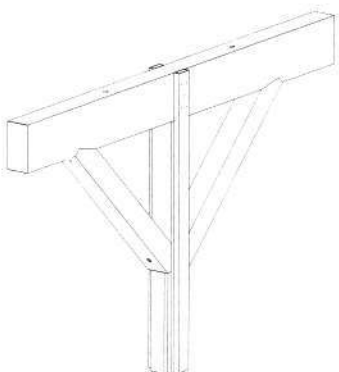
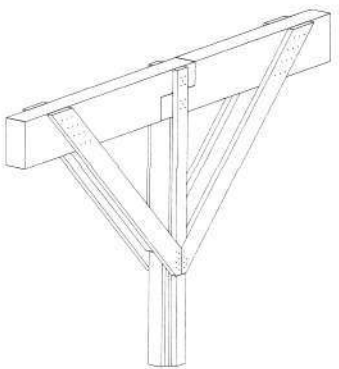
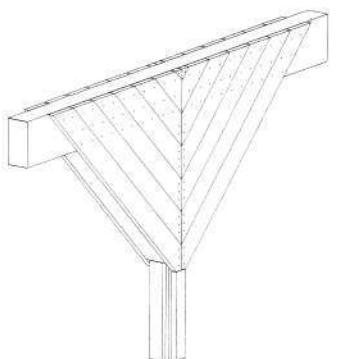
Architetto: E. Gruber, Straubing

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterere Dittrich, Monaco

L'orditura del tetto a tre piani risalente al XVII secolo venne completata e riparata nel corso della ristrutturazione di una Cassa di risparmio. Le capriate principali sono composte da una centinatura staticamente indefinita con contraffissi distanziati e lunghi. Gli appoggi perimetrali alle pareti della facciata sono mutuamente collegati per mezzo di un tirante all'altezza del solaio. Il montante centrale di legno è eseguito con mensola in tre parti. Si è provveduto al risanamento dopo avere scoperchiato l'orditura del tetto; sono stati rilevati e rimossi gli elementi strutturali non più stabili.

La verifica della resistenza residua del legno e delle connessioni eseguite con lavori di carpenteria è avvenuta mediante calcolo elettronico del sistema statico ricostruito. Tenendo conto degli aspetti costruttivi storici sono stati rinnovati soprattutto gli appoggi, rinforzati gli elementi di connessione e rinnovato il manto di copertura per conformarsi alle normative attuali.

1 Montante centrale 25/19
2 Contraffisso 14/17
3 Legno squadrato 24/20
4 Falso puntone 19/22
5 Correntino
6 Vite

Connessioni dei puntelli

tre quarti di sezione in legno tondo

trave incavigliata con rinforzo dell'appoggio

trave in legno squadrato o lamellare con rinforzo dell'appoggio sul montante a croce

con appoggio allargato sul montante a croce

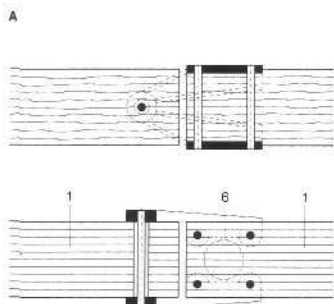
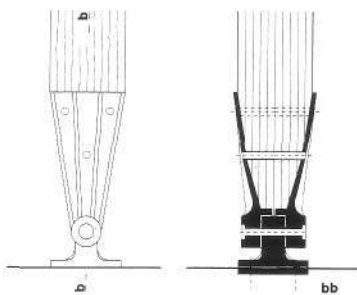
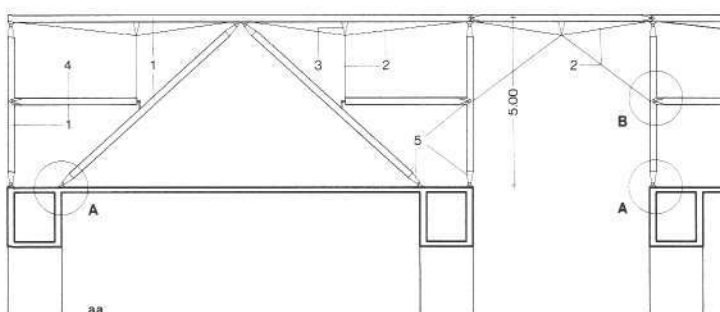
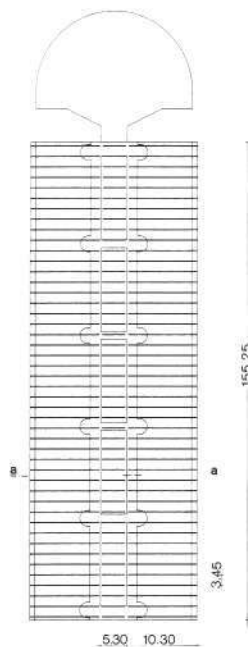
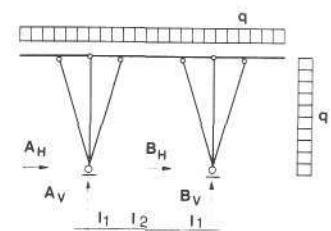
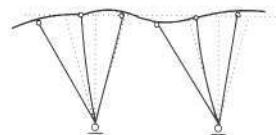
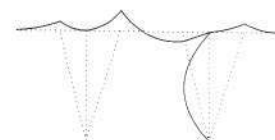
Connessioni di montanti e contraffissi

trave in legno tondo profilato incavicchiata su montante in tre parti

puntoni con incastro su montante a croce

contraffissi in lamellare a doppia I

contraffisso formato da listelli

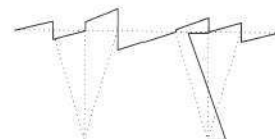
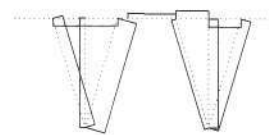
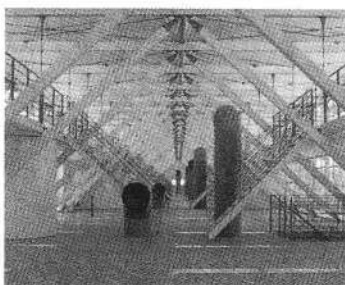
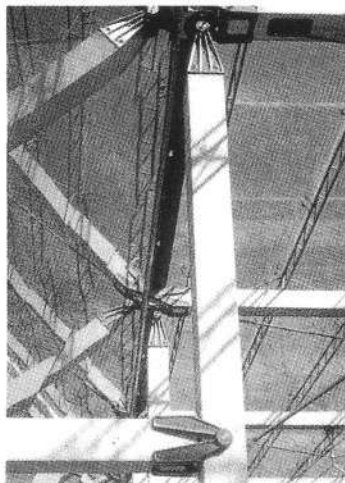
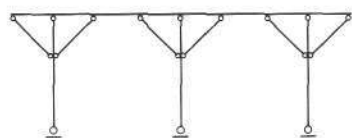
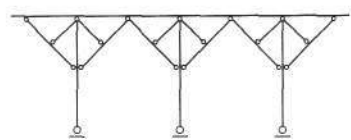
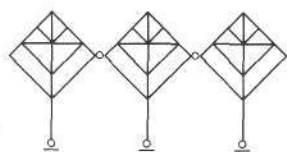
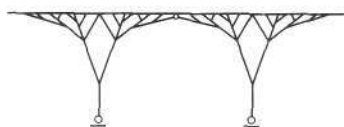
14 • Facoltà di architettura

Lione, Francia; 1987

Architetti:
Jourda, Perraudin e associati, Lione

Ingegneri strutturisti:
M. Francis, R Rice, J. Ritchie, Parigi

Copertura degli studi all'ultimo piano dell'Istituto superiore di architettura. Travi principali in lamellare 20/20 cm rinforzate da tiranti si estendono sopra due navate laterali e un corridoio centrale con copertura di vetro. Corrente superiore lungo 10,50 m, supportato al centro della campata da 2 diagonali, con ulteriore rinforzo inferiore per l'assorbimento dei carichi del solaio intermedio. Diagonali rinforzate dal soffitto intermedio contro il cedimento da carico di punta. Elementi di tetto prefabbricati da 3,45 x 5,15 m in scatolare di compensato rivestito di PVC. Irrigidimento in direzione trasversale per mezzo di tiranti incernierati, in direzione longitudinale mediante l'effetto lastra degli elementi di tetto e croce in acciaio a livello dei sostegni verticali.

1 Trave principale, montanti, puntoni in lamellare 20/20 cm
2 Rinforzo con tiranti in acciaio ∅ 20 mm
3 Asta compressa in acciaio
4 Piano intermedio
5 Elementi di giunzione in acciaio
6 Pluviale

Struttura a puntoni

Carico:
carichi verticali e orizzontali uniformemente distribuiti

Deformazione

Andamento dei momenti

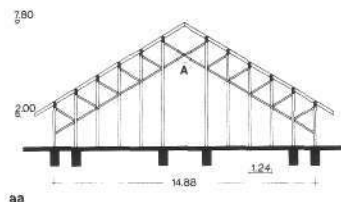
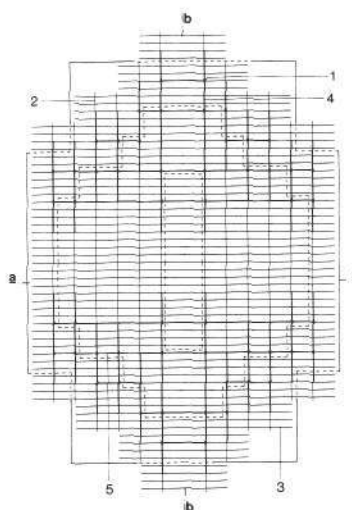
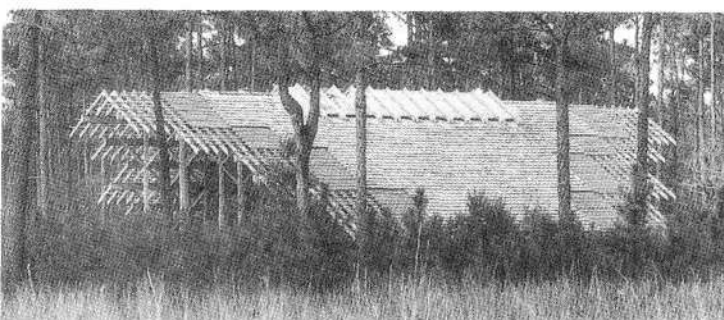
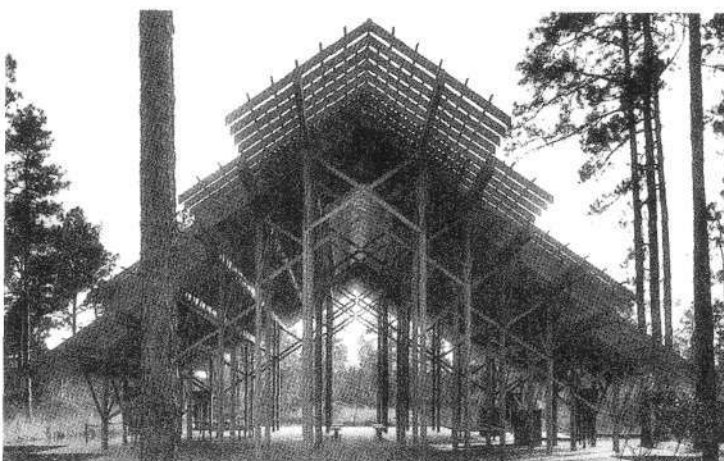
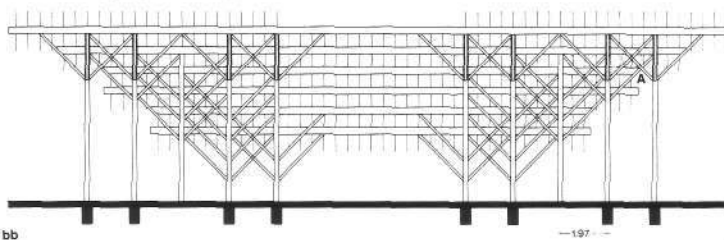
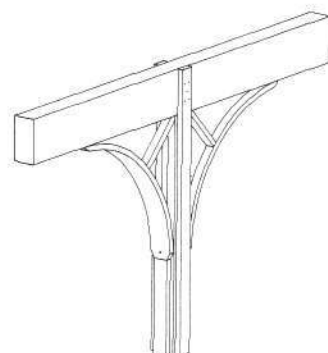
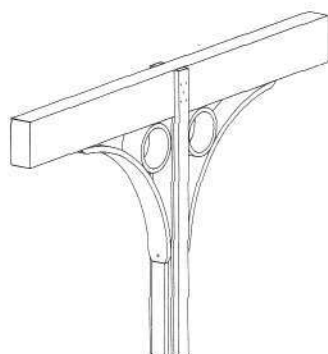
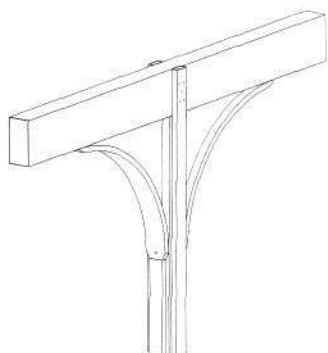
I montanti vengono sollecitati a flessione dal carico laterale

Andamento dello sforzo di taglio

Andamento dello sforzo normale

Sistemi di travi a contraffissi sviluppabili nello spazio

sistema a contraffissi semplice

sistema a contraffissi con irrigidimento alla flessione

sistema a contraffissi con struttura spingente semplice

strutture ad albero

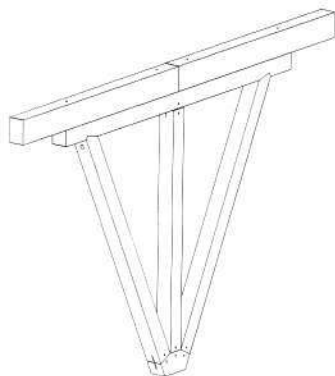
15 • Crosby Arboretum Interpretive Center

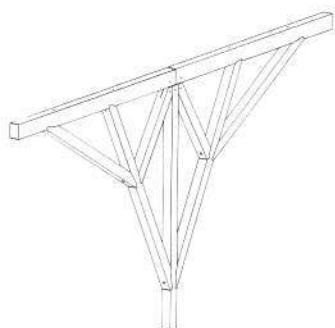
Picayune, Miss., USA; 1987

Architetti: F. Jones, M. Jennings e associati, Fayetteville

Tetto di un padiglione aperto con travatura reticolare parzialmente coperta in legno di pino. Sistema portante principale composto da travi longitudinali continue, che insieme con i montanti composti e le diagonali di legno formano dodici telai scalati in altezza e lunghezza. In direzione trasversale i telai sono collegati per mezzo di diagonali in modo tale da formare un traliccio crescente con la larghezza della costruzione. Travetti continui, sui quali è posata un'incannicciata con copertura in scandole di legno. Stabilizzazione complessiva tramite effetto portante del telaio in entrambe le direzioni.

1 Montante
2 Arcareccio
3 Travetto
4 Arcareccio Contraffisso
5 Trave reticolare

Connessioni di contraffissi anche per disposizione nello spazio

contraffisso ricurvo con anima

contraffisso ricurvo con anello

contraffisso ricurvo con anima e irrigidimento dell'anima

Connessioni di puntoni anche per disposizione nello spazio

con travetti di rinforzo

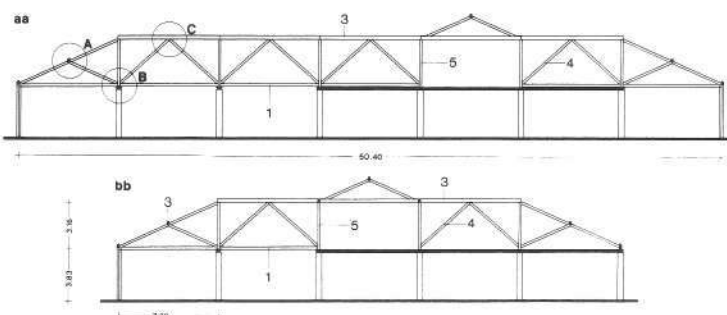
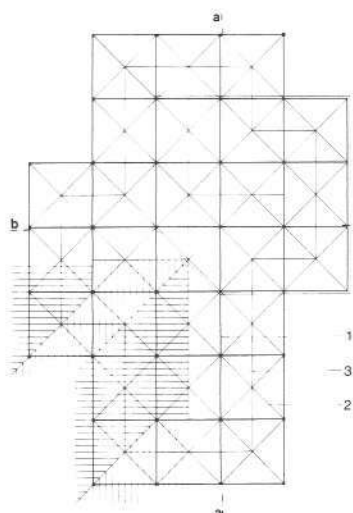
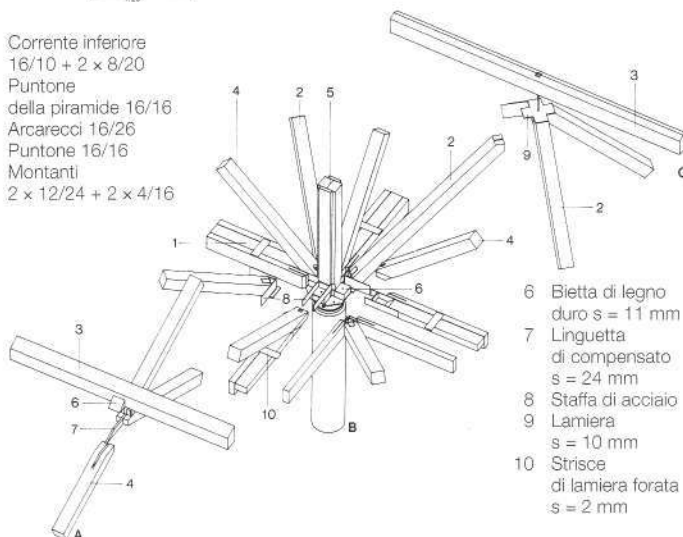
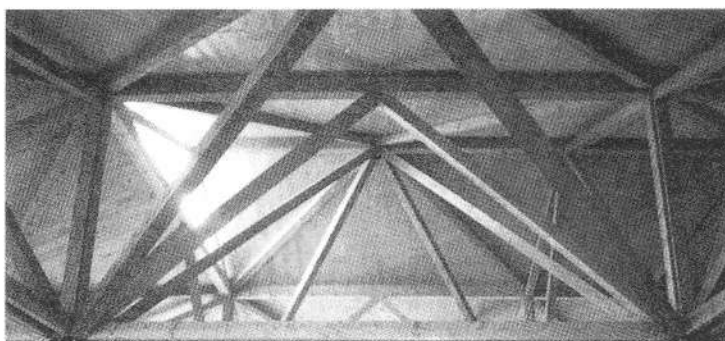
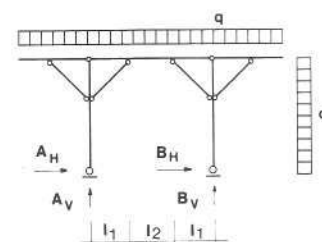
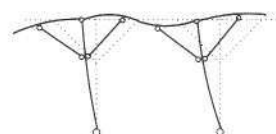
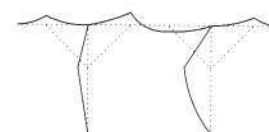
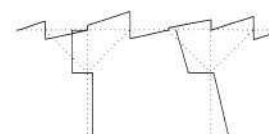
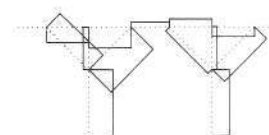
multipli

sovrapposizione di puntoni e contraffissi

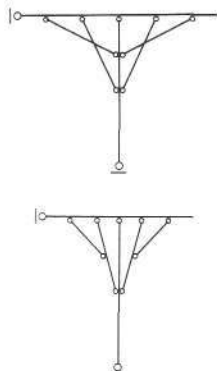
16 • Posto di ristoro autostradale

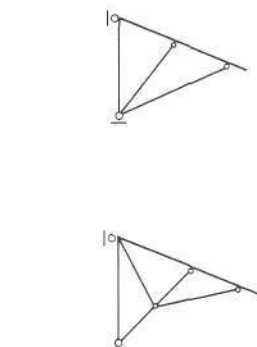
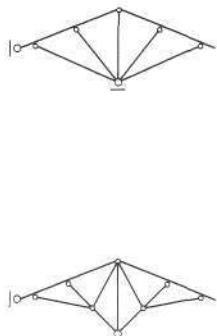
Niederurnen, Svizzera; 1986

Architetti: J. Zweifel & W. Leins, Glarns, Svizzera; H. Brunner, Mollis, Svizzera

Ingegneri strutturisti:
Natterer Bois-Consult, Etoy, Svizzera

il tetto che copre una superficie di 1400 m^2 poggia su pilastri di calcestruzzo incastrati. Il carico di neve è di 2,5 kN/m^2. Per la costruzione portante in legno a vista è stato utilizzato esclusivamente legno squadrato da 16/16. Due tipi di piramidi tridimensionali e strutture spingenti semplici derivanti geometricamente da esse formano il sistema portante principale. Gli arcarecci orizzontali poggiano ogni 3,60 m sulla struttura portante nelio spazio. Le piramidi sono montate al suolo. I tiranti in due parti sono collegati ai nodi centrali tramite piastre chiodate e le lamiere chiodate alle piastre nodali con chiodi speciali senza preforatura. I carichi orizzontali vengono ceduti direttamente ai pilastri di calcestruzzo.

1 Corrente inferiore 16/10 + 2 × 8/20
2 Puntone della piramide 16/16
3 Arcarecci 16/26
4 Puntone 16/16
5 Montanti 2 × 12/24 + 2 × 4/16

6 Bietta di legno duro s = 11 mm
7 Linguetta di compensato s = 24 mm
8 Staffa di acciaio
9 Lamiera s = 10 mm
10 Strisce di lamiera forata s = 2 mm

Trave con contraffissi

Carichi: carichi orizzontali e verticali uniformemente distribuiti

Deformazione

Andamento dei momenti

Andamento dello sforzo di taglio

Andamento dello sforzo normale

Contraffissi multipli

contraffissi e puntoni multipli

puntoni multipli unilaterali

simmetrici

17 • Mensa

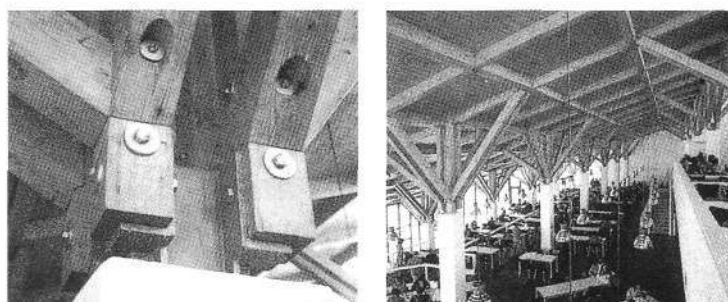
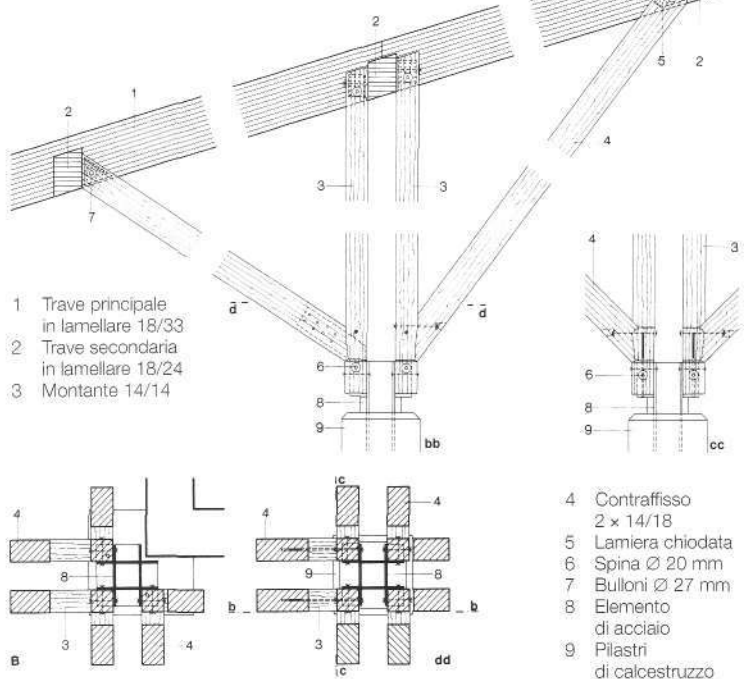
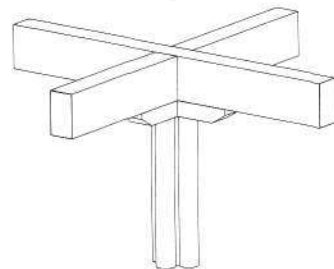
Politecnico di Monaco - Weihenstephan, Germania: 1980

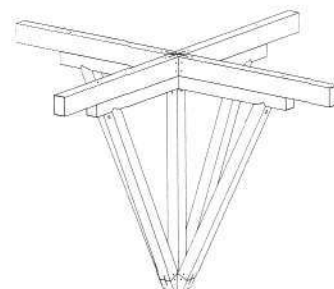
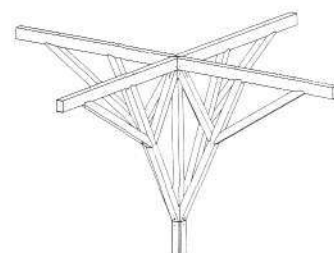
Architetti:
Ufficio tecnico universitario, Weihenstephan; R Burlanek, H. Geierstanger

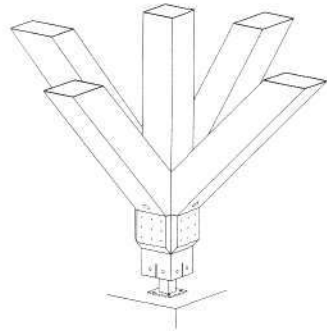
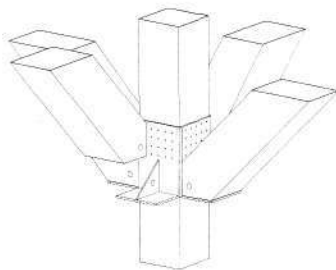
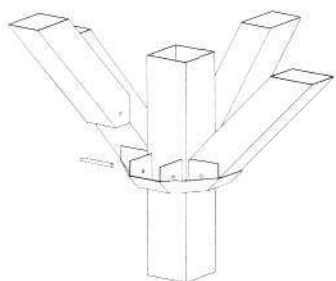
Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione Natterer e Dittrich, Monaco

Un solaio rialzato a forma di fungo in graticcio di travetti sovrasta il refettorio della mensa. Travi principali che si estendono fino a 7,20 m seguendo la pendenza del tetto formano insieme con le travi secondarie un reticolo quadrato di 2.40 x 2,40 m. La cessione del carico dei travetti su pilastri di calcestruzzo incastrati disposti a reticolo di 7.20 x 7,20 m avviene per mezzo di puntoni multipli disposti nello spazio, che nell'area della facciata sostengono la sporgenza del tetto. Essi consistono in montanti verticali centrali in quattro elementi e contraffissi in due elementi. La connessione ai correnti sempiici avviene simmetricamente per mezzo di unioni a due tagli con piastre chiodate e perni di cerniera. Le facciate sono disposte tra i montanti.
La stabilizzazione complessiva deriva dall'effetto telaio in direzione trasversale e longitudinale. Sopra le travi secondarie i travetti sostengono ogni 80 cm il tavolato di soffitto e il manto di copertura.

1 Trave principale in lamellare 18/33
2 Trave secondaria in lamellare 18/24
3 Montante 14/14

4 Contraffisso 2 × 14/18
5 Lamiera chiodata
6 Spina ∅ 20 mm
7 Bulloni ∅ 27 mm
8 Elemento di acciaio
9 Pilastri di calcestruzzo

Nodi nello spazio

connessione montante con rinforzo dell'appoggio

puntoni multipli con elemento ligneo di rinforzo e incastro

contraffissi e puntoni multipli

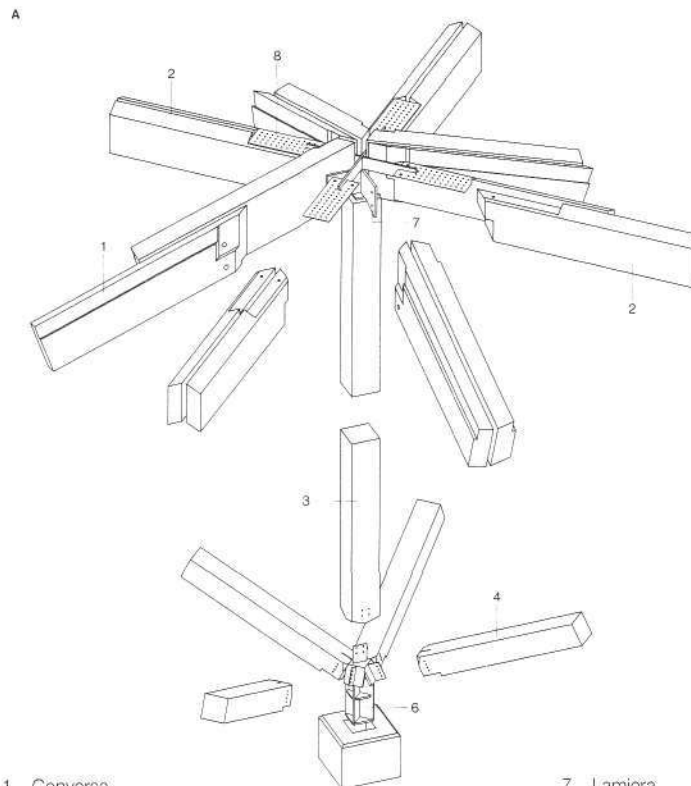
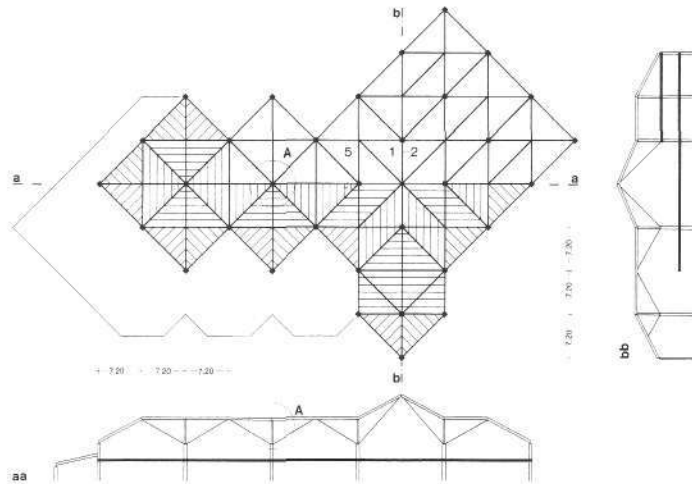
Basi di montanti nello spazio

con mensole

con staffe di acciaio intagliate

su montanti di acciaio con staffa di acciaio

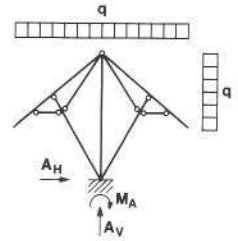
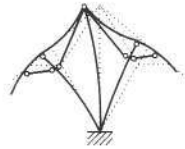
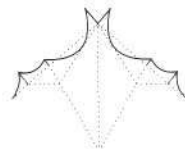
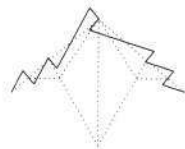
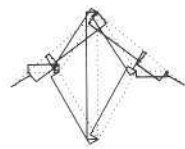
18 • Mensa

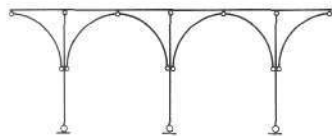
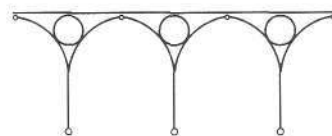
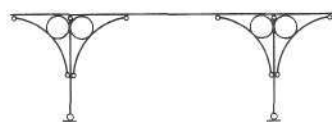
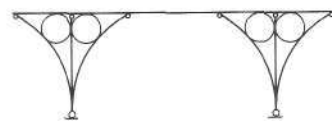
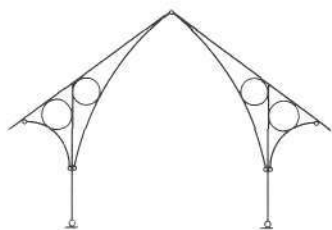
Università di Bayreuth, Germania; 1981

Architetti: M. Schiegtendal, Norimberga; Genio civile, Bayreuth

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterer e Dittrich, Monaco

Sopra il refettorio colonne di legno composte a ombrello sostengono un tetto a struttura corrugata. Esse poggiano su pilastri di calcestruzzo incastrati che sono disposti su un reticolo quadrato con lati lunghi 14,4 m. Gli elementi del tetto sono lastre triangolari, disposte radialmente inclinate l'una rispetto all'altra. Le loro travi perimetrali formano a coppie la trave di colmo e la catena e sono supportate nei punti nodali da montanti di legno sopra l'appoggio e da diagonali di legno.
Tutte le travi principali sono in lamellare, con piastre chiodate coperte collegate con bulloni ed elementi di acciaio.
Gli arcarecci in legno massello sono disposti ad anello rispetto alle travi radiali. Perpendicolarmente a essi è posato un rivestimento di legno. Grazie alla disposizione triangolare delle travi principali si ha una lastra del tetto rigida.
La cessione dei carichi orizzontali avviene tramite i pilastri di calcestruzzo.

1 Conversa in lamellare 2 × 16/50
2 Colmo in lamellare 2 × 12/36
3 Montante in lamellare 24/24
4 Puntone in lamellare 20/20
5 Arcareccio 12/12
6 Mensola d'acciaio
7 Lamiera intagliata s = 20 mm
8 Lamiera chiodata s = 5 mm

Montanti a V con contraffissi

Carico:
carichi orizzontali e verticali uniformemente distribuiti

Deformazione

Momenti

Sforzi di taglio

Sforzi normali

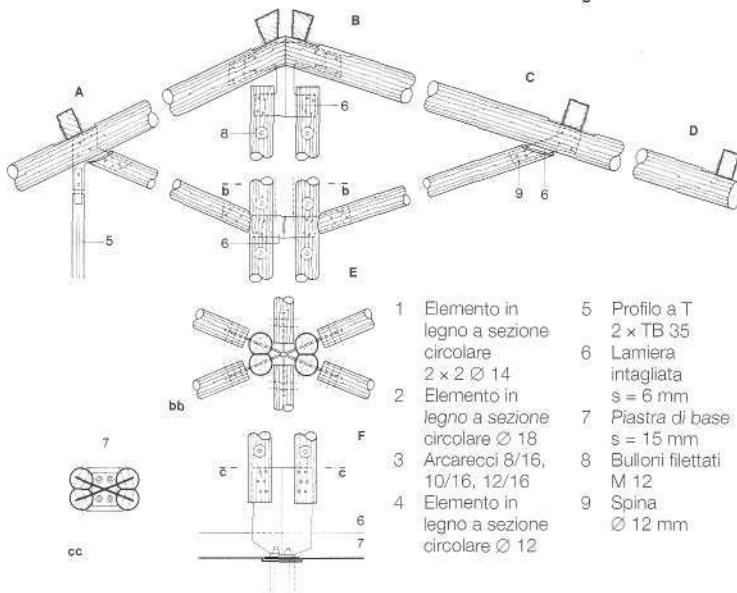
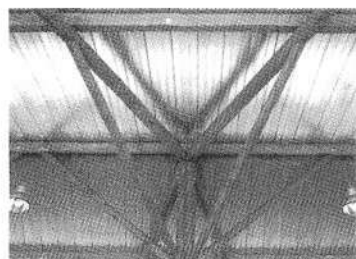
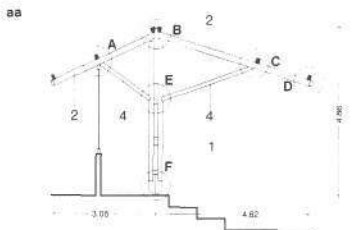
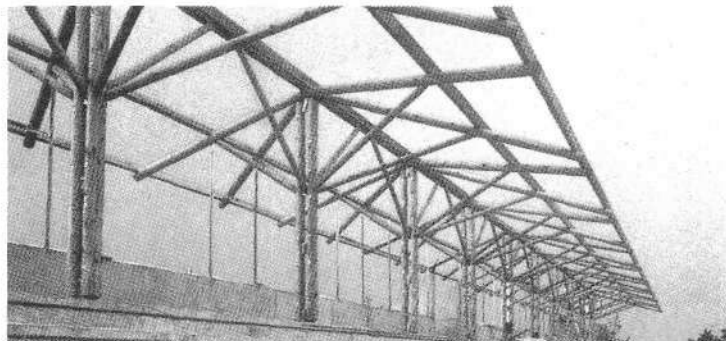
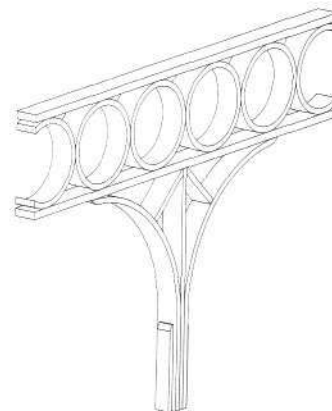
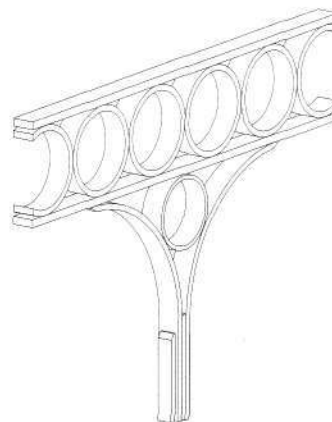
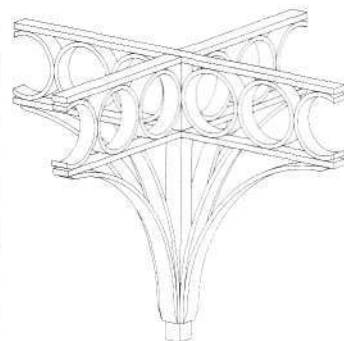
Contraffissi ricurvi

con montanti

con anelli

con montanti e anelli

come aste multiple
con montanti e anelli

come raccordo con il telaio

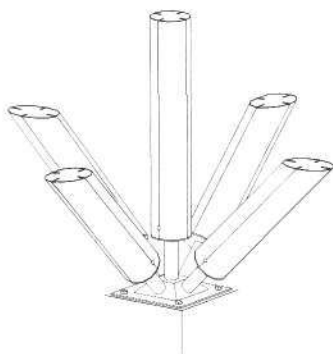
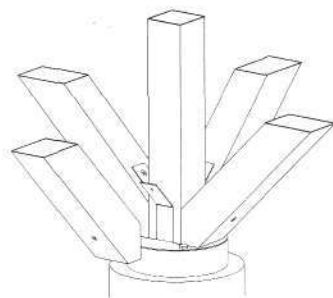
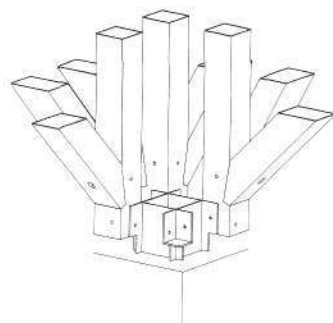
19 • Tribuna

Neufahrn, Germania; 1987

Architetti: Bùro Vier, Dietersheim

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterer e Dittrich, Monaco

Una costruzione libera con profili a sbalzo in legno a sezione circolare forma la copertura. I montanti a intervalli di 5 m sono costituiti da travi a sezione circolare in quattro parti. Sballatura posteriore per mezzo di due profili in acciaio con sezione a croce, che trasmettono anche la forza di compressione. Il tetto è sostenuto da travetti a sezione circolare rinforzati da puntoni con andamento a stella sopra i montanti. Gli arcarecci hanno la forma di travi Gerber in legno a sezione quadrata. La trave di colmo in due parti è collegata ai montanti con puntoni di legno a sezione circolare in modo da agire come controvento verticale in direzione longitudinale. L'irrigidimento del piano del tetto è assicurato dalia disposizione diagonale della travatura principale. La stabilizzazione trasversale avviene tramite telai a tre cerniere, che compongono la travatura principale con i montanti e la strallatura posteriore.

1 Elemento in legno a sezione circolare 2 × 2 ∅ 14
2 Elemento in legno a sezione circolare ∅ 18
3 Arcarecci 8/16, 10/16, 12/16
4 Elemento in legno a sezione circolare ∅ 12
5 Profilo a T 2 × TB 35
6 Lamiera intagliata s = 6 mm
7 Piastra di base s = 15 mm
8 Bulloni filettati M 12
9 Spina ∅ 12 mm

Contraffissi ad arco

con tavola quale irrigidimento
contro il carico di punta

con anello di irrigidimento

radiale con contraffissi doppi

Connessioni di puntoni nello spazio

in legno a sezione circolare

in legno a sezione quadrata o in lamellare

in legno a sezione quadrata composta

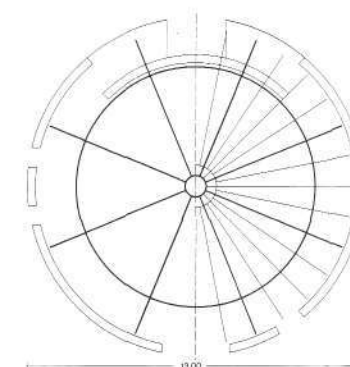
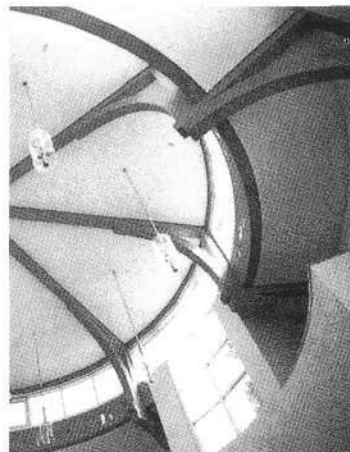
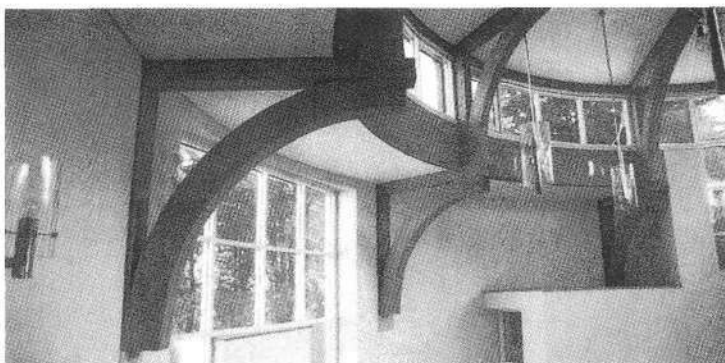
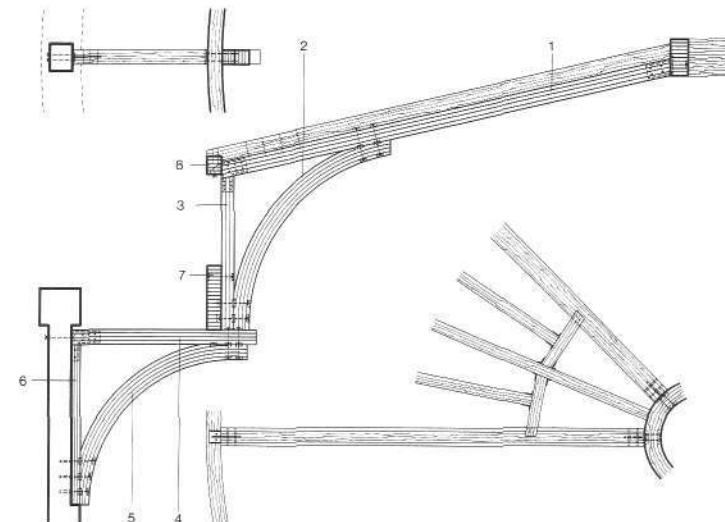
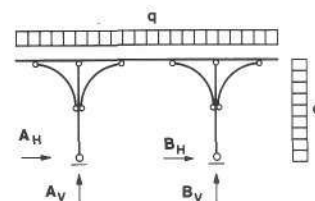
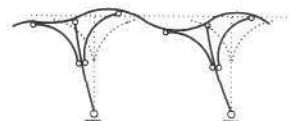
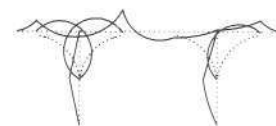
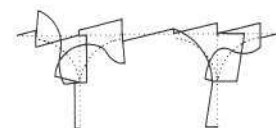
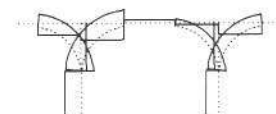
20 • Cappella

Kempten, Germania; 1988-89

Architetti:
Zwerch & Girnsberger, Kempten

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterer e Dittrich, Monaco

La cappella è una costruzione a cupola circolare dal diametro interno di 10 m circa. La cupola è sostenuta da otto mezze capriate disposte radialmente, che poggiano su mensole di legno. I nodi del telaio della capriata principale sono eseguiti come montanti liberi con aste compresse ricurve. Un anello di colmo in legno multistrato e arcarecci ad anello in lamellare sul perimetro esterno collegano le travi principali. Le travi secondarie ad andamento radiale della cupola sono disposte sopra le capriate principali. Le mensole sono composte da elementi in legno lamellare incavicchiati, posti verticalmente nel punto di base della parete di calcestruzzo e sono ancorate all'altezza del corrente superiore. La parte sporgente della parete impedisce la torsione della costruzione di legno.

1 Mezza capriata in lamellare 20/20
2 Aste compresse in lamellare 20/14
3 Aste tese in lamellare 20/14
4 Mensole in lamellare 20/16
5 Lamellare 20/25
6 Lamellare 20/10
7 Trave ad anello in lamellare 16/82
8 Trave ad anello in lamellare 16/20

Travi supportate da archi

Carico:
carico orizzontale e verticale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzi di taglio

Sforzi normali

Sistemi e forme di travi

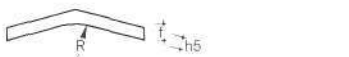
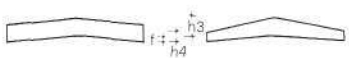
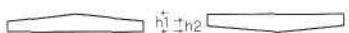
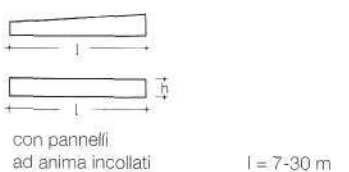
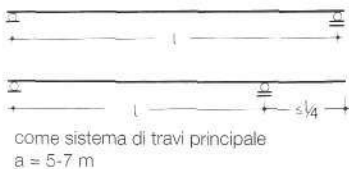
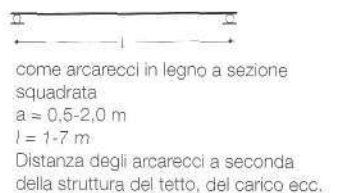
come arcarecci in legno a sezione squadrata
a ≈ 0,5-2,0 m
l = 1-7 m
Distanza degli arcarecci a seconda della struttura del tetto, del carico ecc.

come sistema di travi principale
a ≈ 5-7 m

con pannelli ad anima incollati — l = 7-30 m

Correnti o ali inchiodate, incollate — $h = \frac{l}{8} - \frac{l}{14}$

Legno lamellare: — l = 7-40 m

$h = \frac{l}{10} - \frac{l}{20}$

Variante di vista verticale della trave (dimensionamento per legno lamellare)

$h1 = \frac{1}{14} - \frac{1}{18}$

$h2 = \frac{1}{18} - \frac{1}{22}$

$h3 = \frac{1}{14} - \frac{1}{18}$ $\quad ∡ = 6\text{-}15°$

$h4 = \frac{1}{30} - \frac{1}{50}$ $\quad R \geq 6$ m

$h5 = \frac{1}{14} - \frac{1}{18}$ $\quad f \leq \frac{1}{5} - \frac{1}{10}$

Travi a una campata con sovrapposizione: $s \geq \frac{l}{200}$

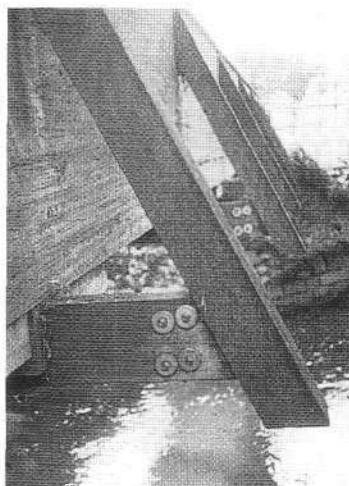
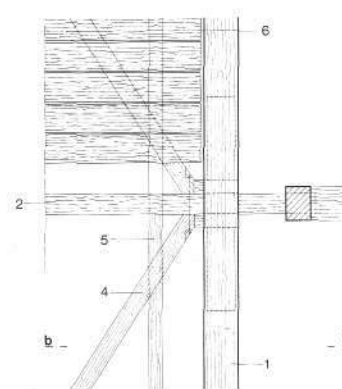
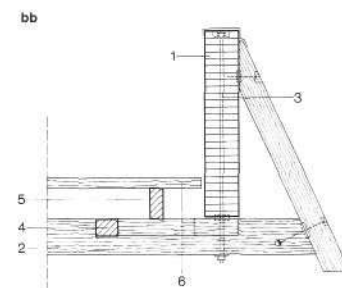
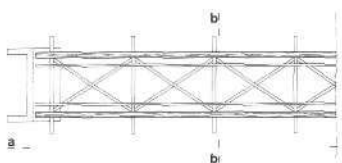
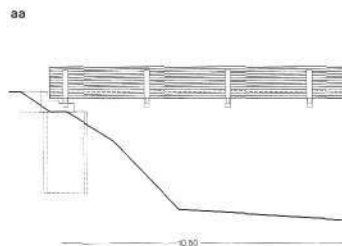
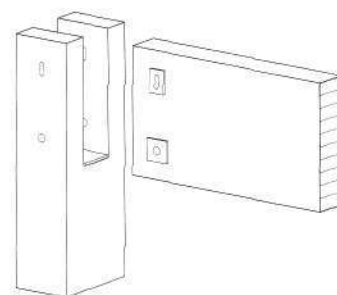
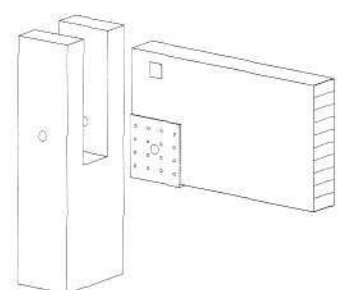
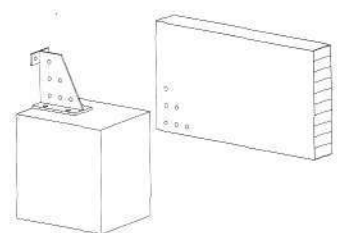
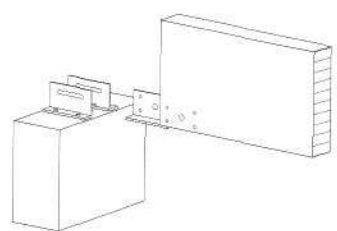
orizzontale

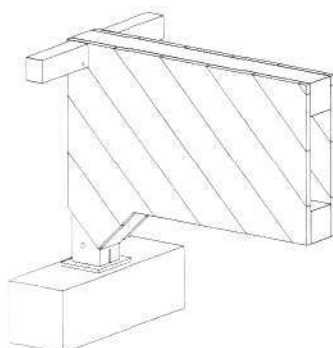
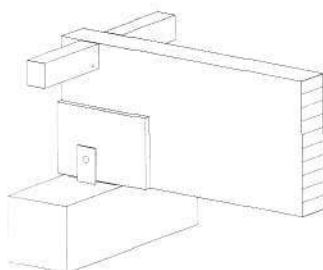
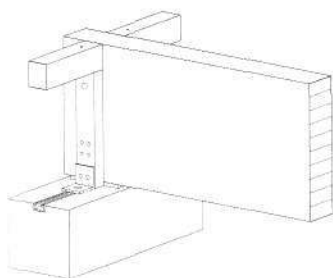
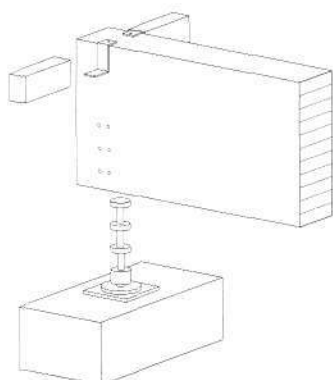
inclinata

21 • Ponte

Eching am Ammersee, Germania; 1982

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterer e Dittrich, Monaco

Il ponte pedonale largo 2 m è conformato come travatura a una campata di 21 m. Il sistema di travi principale è composto da capriate in lamellare da 20/115. irrigidite a mo[1] di telaio da traversi e puntoni in lamellare. I traversi in legno bongossi trasmettono i carichi dell'impalcato attraverso tiranti vincolati alle travi principali. Esse sporgono da entrambi i lati per consentire di puntellare le travi longitudinali. Il collegamento è effettuato tramite spine di testa. Le travi longitudinali e le tavole da 6 cm dell'impalcato sono in bongossi. Sotto di esse è situato un controvento a croce in puntoni in bongossi per irrigidire il ponte in orizzontale. Un corrimano resistente agli agenti atmosferici copre la parte superiore delle travi principali. Appoggi elastomerici trasmettono i carichi ai piedritti.

1 Trave principale in lamellare 20/115
2 Traverso 12/21
3 Tirante M 20
4 Controvento 10/10
5 Trave longitudinale 8/18
6 Impalcato 18/6

Appoggio trave-pilastro di calcestruzzo

Appoggio a forcella

Appoggio a forcella con supporto incernierato

con parte in acciaio intagliata

Appoggio mobile su strato scorrevole

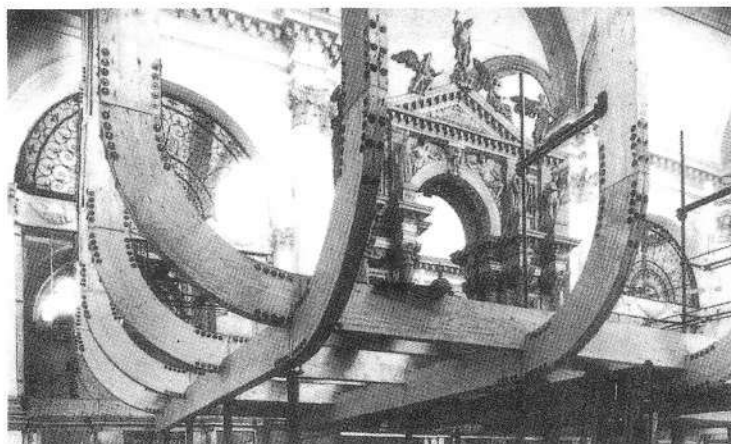
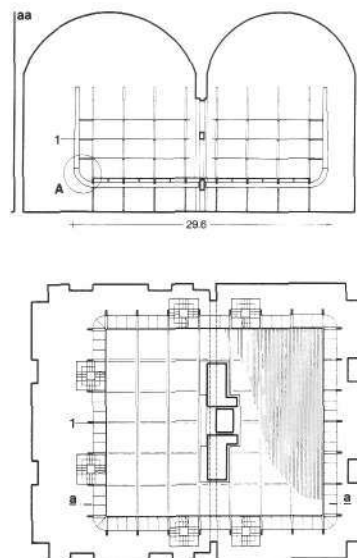
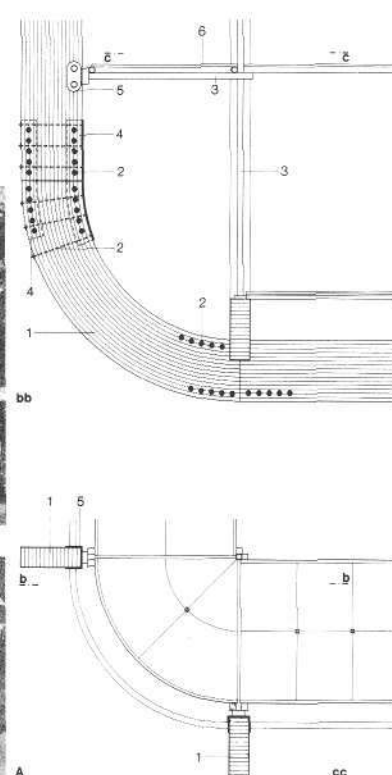
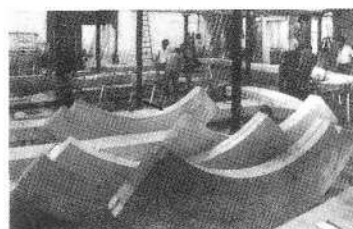
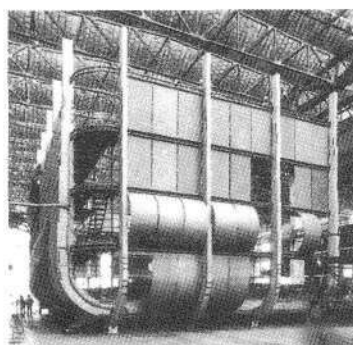
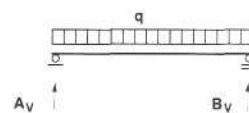
Appoggio trave-parete

rialzato

con rinforzo dell'appoggio in lamiera chiodata o compensato

con rinforzo dell'appoggio e fissaggio alla guida di scorrimento

con tassello a serraggio su elemento rotante

22 • Auditorium

Venezia; 1984

Architetti:
Renzo Piano, Building Workshop, Genova

Ingegnere strutturista: M. Milan. Genova

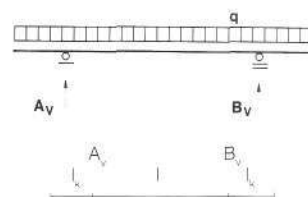
All'interno della chiesa di San Lorenzo sono state realizzate due sale da concerto in una cassa rialzata. Le travi principali doppie in lamellare si incrociano in un reticolo quadrato di 3,60 m. Esse proseguono attraverso l'arco sporgente a quarto di cerchio collegato in modo rigido ai montanti verticali per alloggiare gli elementi di parete acustici e le passerelle di servizio sospese. Tubi di acciaio supportano le passerelle all'interno ogni 3,60 m. Le travi contìnue in lamellare ad andamento longitudinale sostengono il pavimento ogni 1,80 m. La travatura principale è irrigidita da tubi di acciaio doppi e ancorata alla muratura esistente.

1 Trave principale in lamellare 20/60
2 Bullone ∅ 10 mm
3 Tubo di acciaio ∅ 60 mm
4 Lamiera intagliata
5 Angolare a U in acciaio s = 60 mm
6 Impiantito

Trave a una campata, strutture portanti

Carico: carico verticale uniformemente distribuito

Deformazione:
$$\max v = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384\, E \cdot J}$$

Momenti: $\max M = \frac{q \cdot l^2}{8}$

Sforzi di taglio: $\max V = \frac{q \cdot l}{2}$

Sforzi normali: $N = 0$

Trave sporgente a una campata

Carico: carico verticale uniformemente distribuito

$$A_v = B_v = q\left(l_k + \frac{l}{2}\right)$$

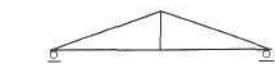
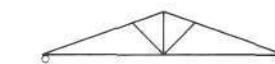
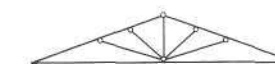
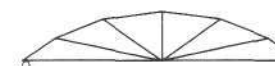
Deformazione

Andamento del momento

$$M_k = -q\,\frac{l_k^2}{2}$$

$$M_F = \frac{q \cdot l^2}{8} - \frac{q \cdot l_k^2}{2}$$

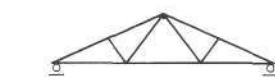
Sforzi di taglio
Sforzo normale = 0

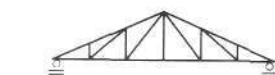
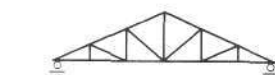
Struttura reticolare a triangolo rinforzata da tirante inferiore

e montanti

montante e puntoni

e puntoni multipli

come raccordo alla struttura reticolare ad arco con puntoni multipli

Struttura reticolare a triangolo

a = 4-10 m ∡ = 12-30°

$h = \frac{l}{10}$

l = 7,5-30 m

con diagonali discendenti e ascendenti

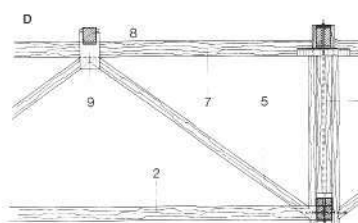
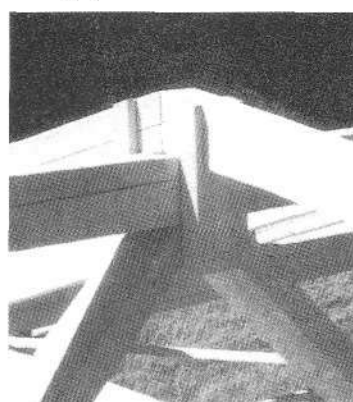
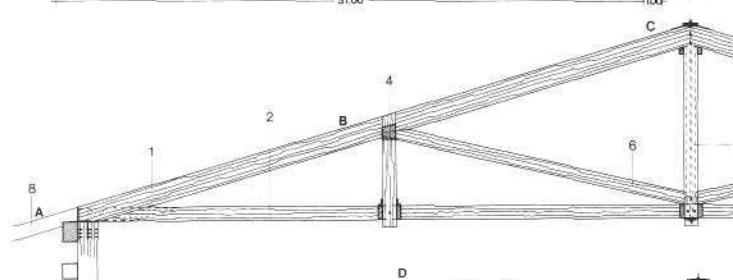
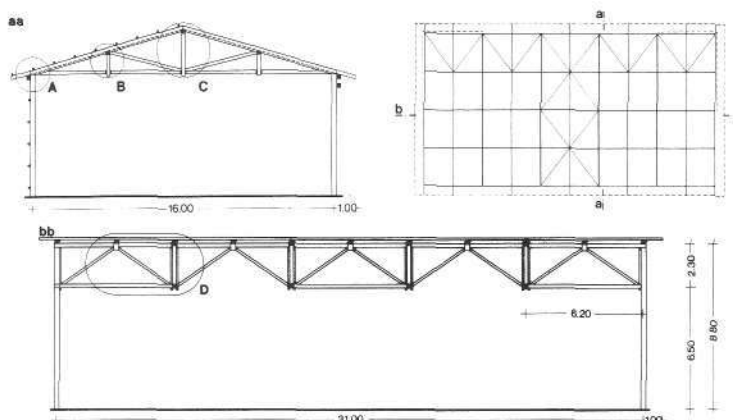
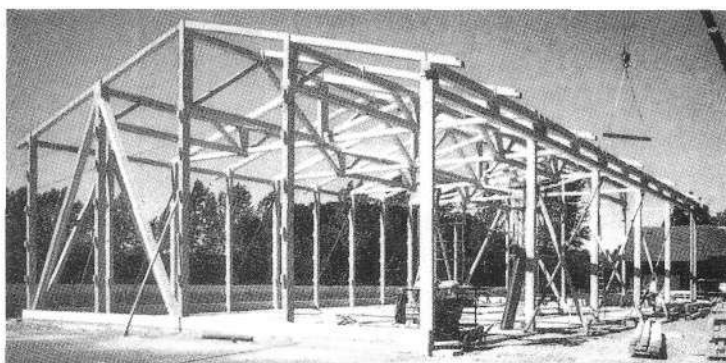
con struttura reticolare a rombi

con montanti, diagonali discendenti e ascendenti

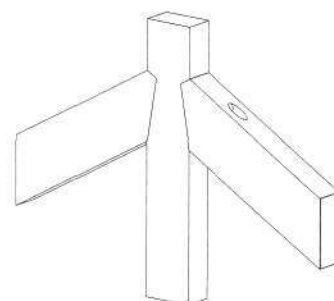
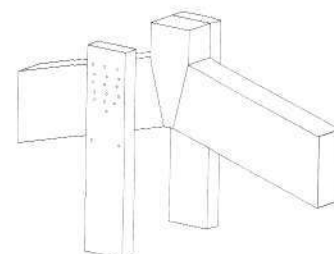
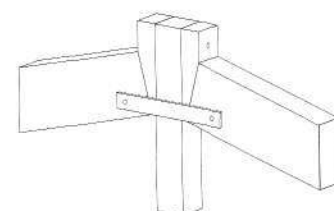
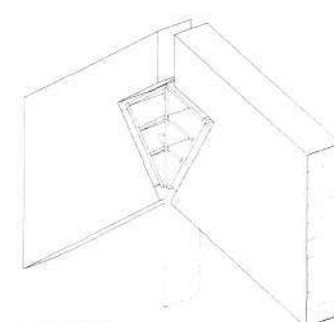
23 • Capannoni

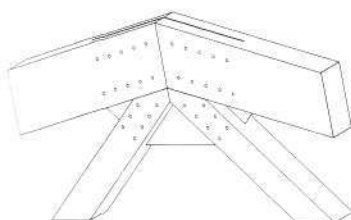
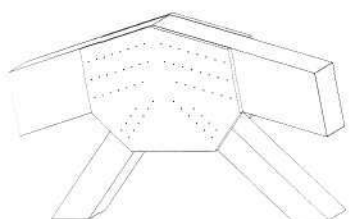
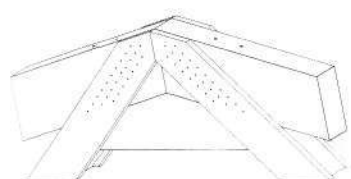
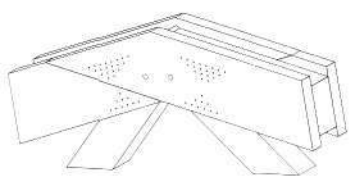
Payerne e Sion, Svizzera: 1987

Architetti: H. e L. Meier, Sion
Ufficio federale per l'edilizia, Losanna

Ingegneri strutturisti:
Natterer Bois-Consult, Etoy, Svizzera

Capannoni in legno massello con lato di gronda completamente apribile e distanza tra i montanti di 6,00 m. Sistema di travi principali composto da quattro travi reticolari con una luce di 16,00 m e interasse di 6,20 m. Sul lato frontale le travi sono sostituite da montanti. La luce della trave di colmo è ridotta alla metà tramite puntello posto nel centro della campata. L'appoggio stabilizza contemporaneamente il corrente inferiore della trave reticolare in caso di carico di compressione, causato da vortici di vento. Irrigidimento del tetto tramite un controvento situato nel piano del tetto con sporgenza per assorbimento delle forze dalla facciata di gronda apribile.

1 Corrente superiore 20/26
2 Corrente inferiore 2 × 10/18
3 Puntone 2 × 10/18 + 2 × 6/20
4 Puntone 2 × 10/18 + 18/20
5 Diagonali 12/18
6 Diagonali 16/20
7 Arcareccio 18/18
8 Travetto 18/20
9 Coprigiunto 6 cm

Nodi di colmo

con incastro per strutture sospese semplici

con rivestimento e montante in due parti

con cunei a incastro in legno duro

con acciaio

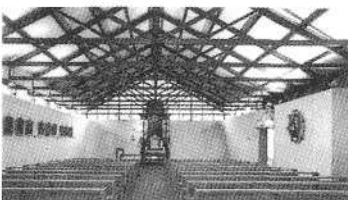
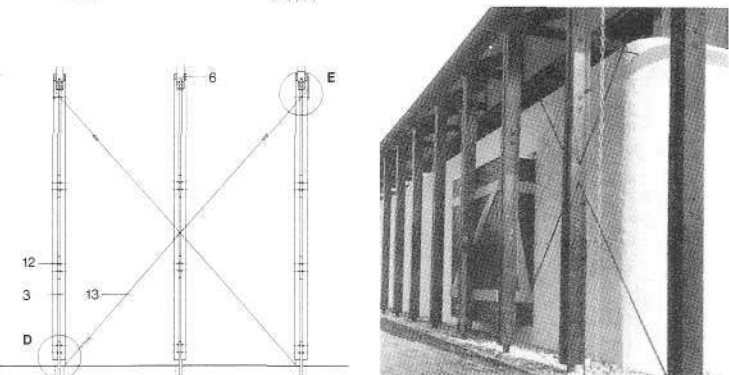
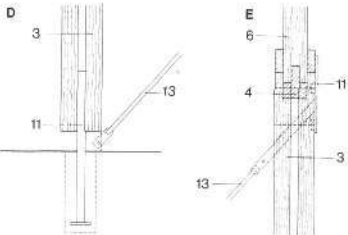
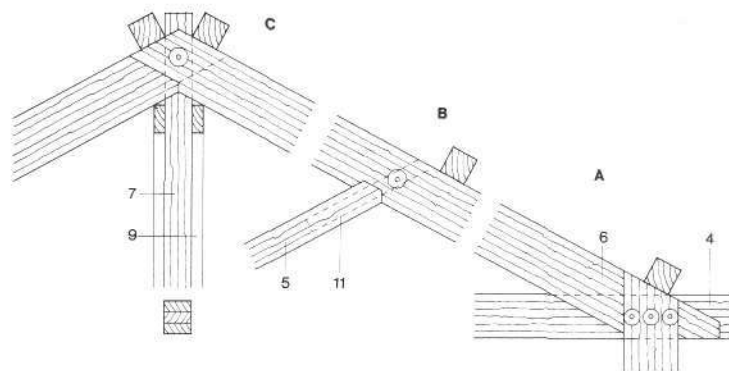
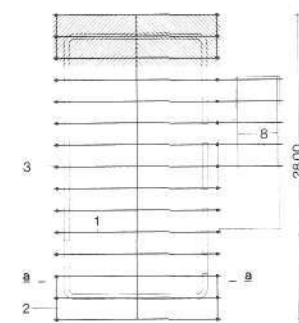
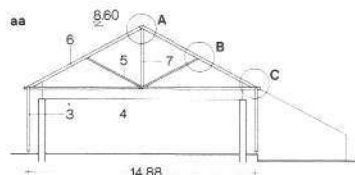
Nodi di colmo

lamiera chiodata, incastrata in intagli segati

pannelli di multistrato chiodati oppure lamiere chiodate applicate a pressione

diagonali in tre pezzi, inchiodate al corrente superiore, cuneo di legno duro avvitato

inchiodati, con giunto a mezzo legno

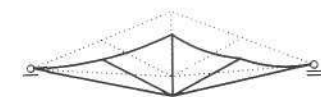
24 • Chiesa

Adelschlag (Eichstätt), Germania; 1974

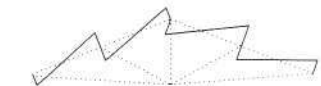
Architetti:
K.-J. Schattner, H. Poilak, Eichstätt

Ingegnere strutturista: K. Stepan, Monaco

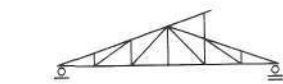
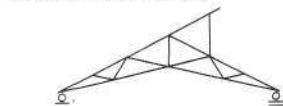
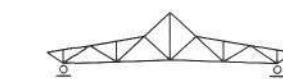
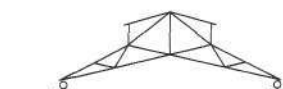
Navata della chiesa rettangolare con tette a due falde. Quindici capriate reticolari si estendono per 14,60 m con un interasse di 2 m. Esse poggiano su montanti oscillanti situati a circa 1 m all'esterne della facciata. Per l'irrigidimento vengono utilizzate le pareti massicce, un controvento a traliccio verticale sotto il colmo, controventi orizzontali nel piano del tetto e croci in acciaio tondo tra i montanti sulla facciata. Elementi in legno colorati. Esecuzione dei punti nodali di carpenteria tramite incastri e giunti a mezzo legno.

1 Trave reticolare
2 Controvento
3 Montanti 2 × 8/20
4 Corrente inferiore 4/16
5 Diagonale 2 × 6/20
6 Corrente superiore 2 × 6/20
7 Verticale 10/12 (3 × 4/10)
8 Arcareccio 12/12, 12/20
9 Traliccio longitudinale 4/10
10 Travetti 10/10
11 Coprigiunto d'acciaio
12 Legno di copertura
13 Tondino d'acciaio ∅ 12

Capriata triangolare

Carico: carico verticale uniformemente distribuito

Deformazione

Andamento dei momenti

$$\max M \approx \frac{q \cdot l_1^2}{10}$$

Andamento dello sforzo di taglio

Andamento dello sforzo normale

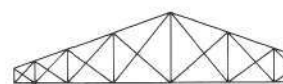
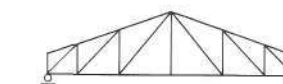
Struttura reticolare a triangolo

con lucernario da un lato

con corrente inferiore rialzato e lucernario

con lucernario in direzione longitudinale

con corrente inferiore sollevato e possibilità di illuminazione e ventilazione da entrambi i lati

Tetto a struttura reticolare a due falde con gronda rialzata

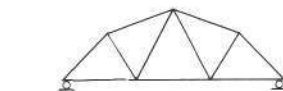
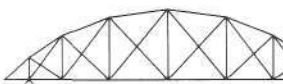
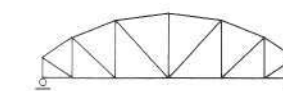
$a = 4\text{-}10$ m

$h \geq \frac{l}{12}$

$l = 7{,}5\text{-}35$ m

$\measuredangle = 3\text{-}8°$

$a = 4\text{-}10$ m

$h = \frac{l}{6} - \frac{l}{8}$

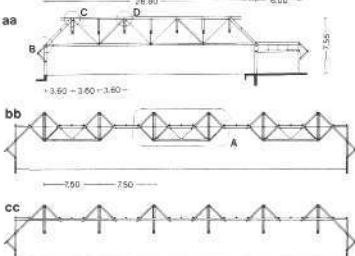
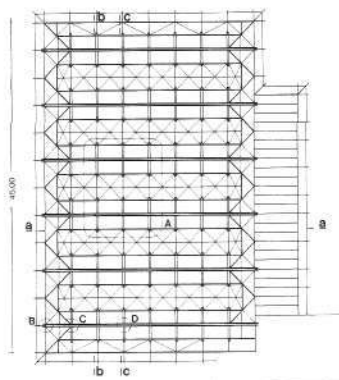
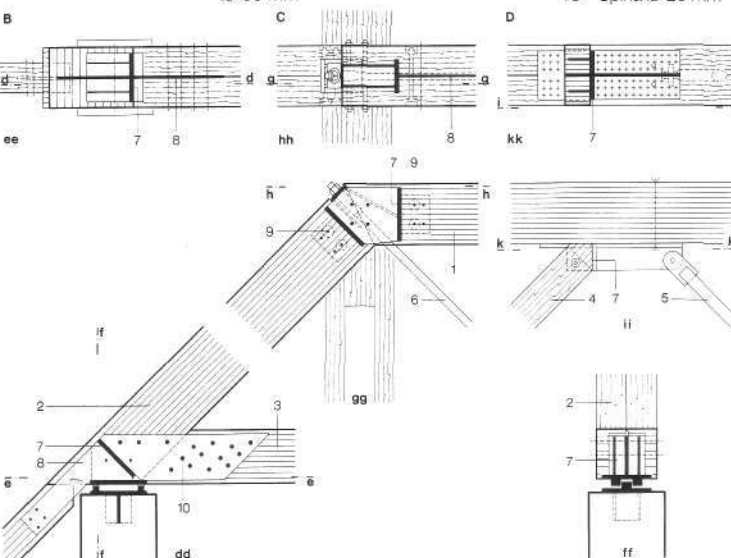
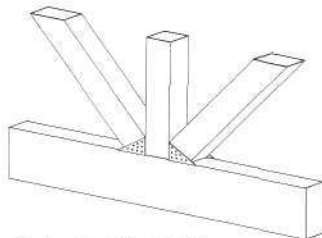
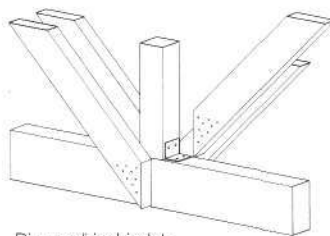
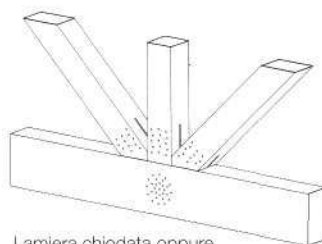
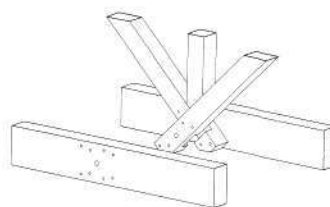
$l = 20\text{-}50$ m

Struttura reticolare a mansarda

Struttura reticolare ad arco

Struttura reticolare ad arco con gronda rialzata

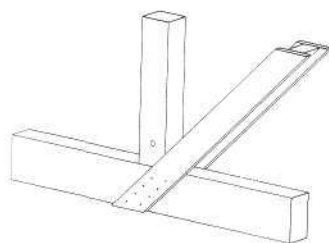
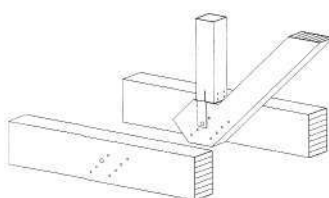
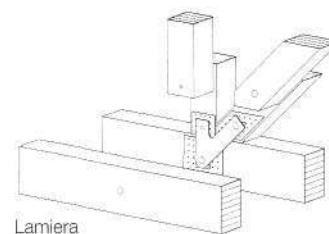
25 • Palazzetto dello sport Weierhof

Karlsruhe, Germania; 1981

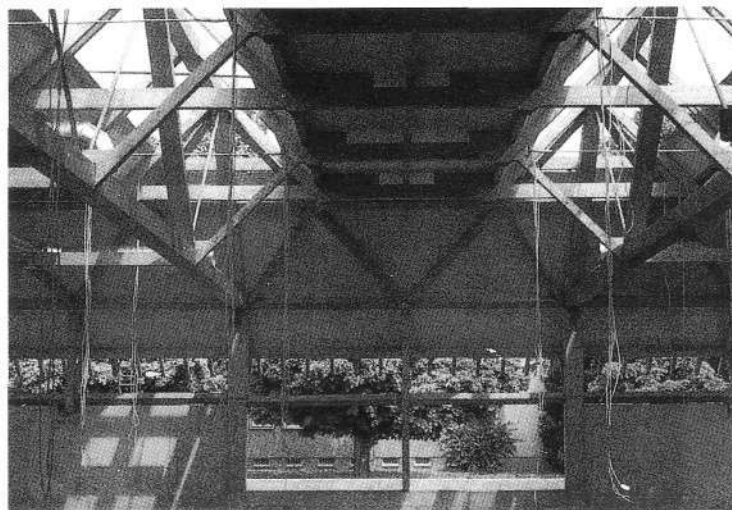
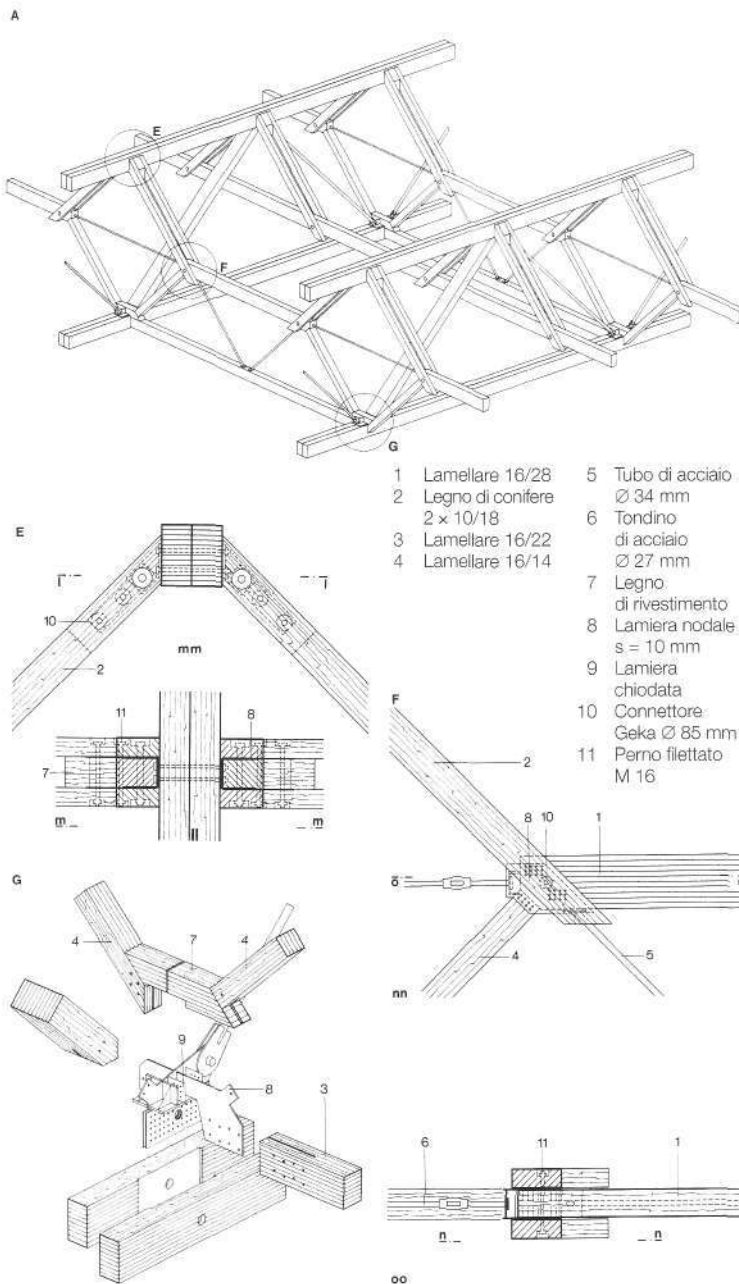
Architetto: Kuhlmann, Biro-Biro, Karlsruhe

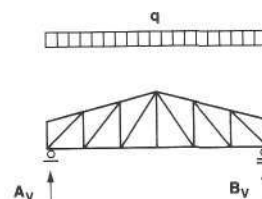
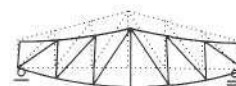
Ingegneri strutturisti: Società di progettazione Natterer e Dittrich, Monaco

Una costruzione reticolare con *shed* integrati copre la palestra. Le travi principali che si estendono per 28,8 m poggiano a distanza di 7,50 m su pilastri di cemento armato e sono conformate come travi reticolari trapezoidali. I correnti sono doppie travi di lamellare reciprocamente incavicchiate. Le aste diagonali sollecitate a compressione sono di lamellare, le aste ascendenti sollecitate a trazione sono in acciaio. Trasmissione per contatto delle tensioni di compressione tramite piattebande. Le forze dì trazione sono convogliate per mezzo degli elementi in acciaio attraverso I nodi, che poggiano contro le aste compresse per mezzo di piattebande; le forze differenziali del corrente tramite connessioni chiodate. I puntoni applicati a distanza di 3,60 m, perpendicolarmente all'asse della trave, irrigidiscono il corrente lateralmente, agiscono da travetti del *shed* e da supporto intermedio per gii arcarecci sospesi. Le travi secondarie sono conformate come arcarecci continui sospesi in lamellare. Nel quarto la trave principale è completata come trave reticolare per collegare a coppie le travi principali in modo resistente a torsione. L'irrigidimento orizzontale del piano del tetto avviene tramite controventi incrociati composti da diagonali di acciaio piatto sopra il tavolato, tra le travi principali. La trasmissione dei carichi orizzontali agli appoggi avviene mediante puntoni di legno, mentre i pilastri di cemento armato incastrati convogliano le forze nelle fondamenta.

1 Lamellare 2 × 16/32
2 Lamellare 2 × 16/34
3 Lamellare 2 × 16/28
4 Lamellare 32/18
5 Tubo di acciaio ∅ 60 mm
6 Tondino d'acciaio ∅ 48 mm
7 Piattabanda s = 15 mm
8 Lamiera intagliata s = 8 mm
9 Perno filettato M 12
10 Spina ∅ 20 mm

Nodi di struttura reticolare

Staffa di acciaio chiodata oppure elementi sagomati in lamiera

Diagonali inchiodate

Lamiera chiodata oppure incavicchiatura con lamiera intagliata preforata

Diagonali unite con perni di cerniera

Nodi di struttura reticolare

Diagonali in tre parti, montante compresso inchiodato al corrente inferiore con connettori Simplex

Giunzione a contatto per montante compresso

Lamiera chiodata e a incastro per la trasmissione delle forze perno di cerniera-legno

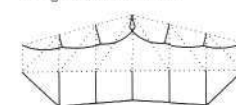
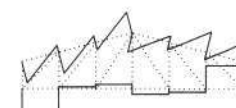
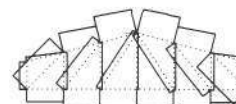
A

1 Lamellare 16/28
2 Legno di conifere 2 × 10/18
3 Lamellare 16/22
4 Lamellare 16/14
5 Tubo di acciaio ∅ 34 mm
6 Tondino di acciaio ∅ 27 mm
7 Legno di rivestimento
8 Lamiera nodale s = 10 mm
9 Lamiera chiodata
10 Connettore Geka ∅ 85 mm
11 Perno filettato M 16

Strutture portanti

Tetto reticolare a due falde con gronda rialzata

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito

Deformazione:

Calcolo approssimativo ai sensi della norma DIN 1052, tab. 9:

$$f = \sum \frac{N_i \cdot \bar{N}_i}{E_i \cdot A_i} \cdot l_i$$

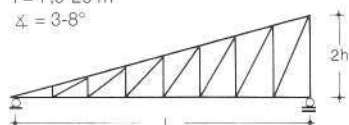
N_i Resistenza dell'asta rispetto al carico esterno
$\bar{N}_i$ Resistenza dell'asta rispetto a un carico virtuale "1" che si presenta al posto dell'inflessione desiderata
E_i Modulo elastico
A_i Superfici di sezione
l_i Lunghezze dell'asta

Andamento dei momenti

Andamento dello sforzo di taglio

Andamento dello sforzo normale

Travi a una campata – sistemi reticolari

Tetto reticolare a una falda

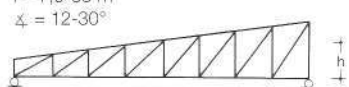
a = 4-10 m

$h_m \geq \frac{l}{10}$

l = 7,5-20 m
∡ = 3-8°

Tetto reticolare a una falda
con gronda rialzata

a = 4-10 m

$h_m \geq \frac{l}{12}$

l = 7,5-35 m
∡ = 12-30°

Strutture reticolari parallele

Inclinazione del corrente superiore 0-4°

come trave secondaria:
a = 0,8-1,25 m

$h = \frac{l}{8} - \frac{l}{12}$

l = 5-15 m

come trave principale:
a = 2,5-6 m

$h = \frac{l}{10} - \frac{l}{14}$

l = 5-25 m

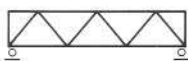
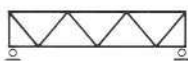
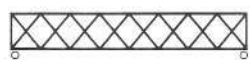
possibile con lamellare
a = 2,5-6 m

$h = \frac{l}{10} - \frac{l}{15}$

l = 20-80 m

come struttura reticolare a rombi
a = 2,5-6 m

$h = \frac{l}{10} - \frac{l}{14}$

l = 20-50 m

con diagonali discendenti
e ascendenti a distanza di arcarecci

con diagonali discendenti
e ascendenti a distanza di arcarecci
e puntoni di appoggio

come struttura reticolare a rombi
semplice

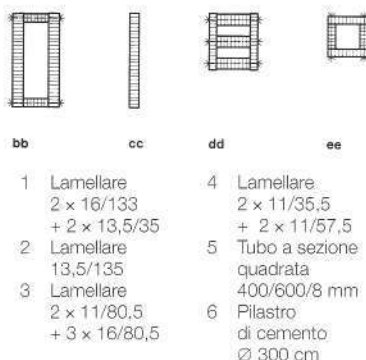
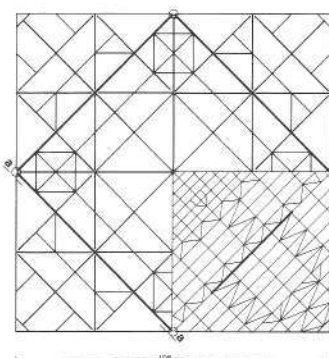
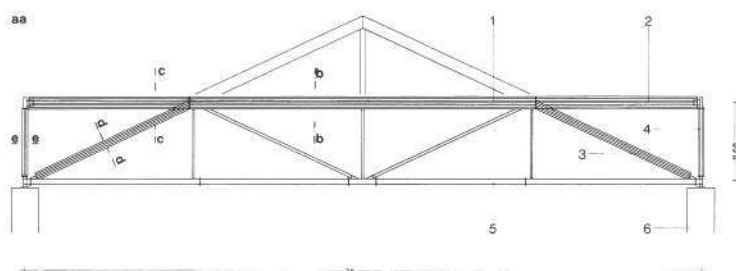
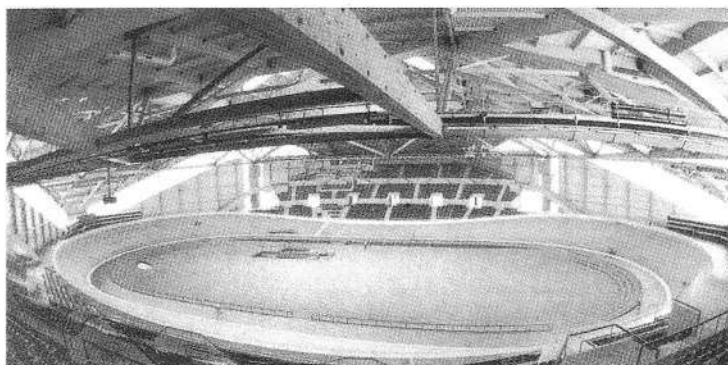
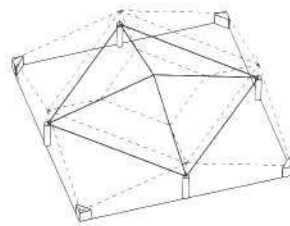
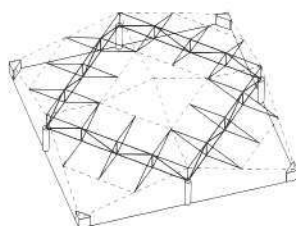
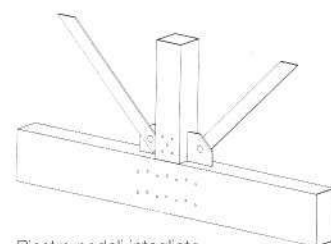
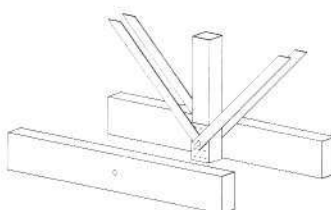
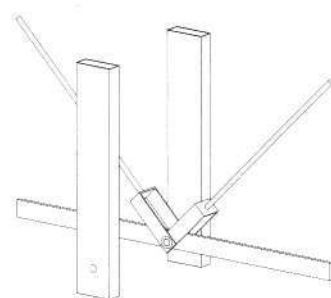
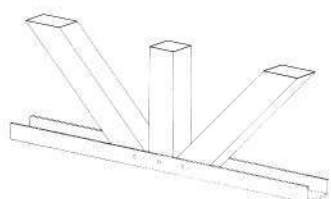
26 • Velodromo

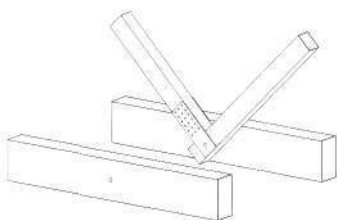
Bordeaux, Francia; 1988-89

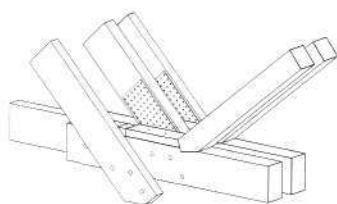
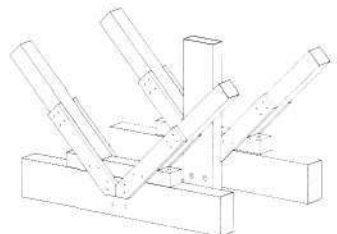
Architetto: R. Taillibert, Parigi

Ingegneri strutturisti: M. Flach, Fi. Weisrock SA, Saulcy-sur-Meurthe

Sopra una superficie di base quadrata con lato lungo 106 m il tetto del velodromo viene sostenuto da una costruzione reticolare nello spazio, che essenzialmente poggia su quattro pilastri principali di cemento. Travi reticolari alte 10 m con luce da 75 m racchiudono un quadrato, mensole in lamellare sporgono di 18,75 m da entrambi i lati. Al sistema di travi principali è sovrapposta una piramide centrale, le cui capriate d'angolo poggiano direttamente sugli appoggi.
Il tirante di acciaio a sezione scatolare funge sia da corrente inferiore della capriata reticolare, sia da tirante tra i montanti della piramide. Capriate secondarie poste a intervalli dì 18,75 m sostengono gli arcarecci a una campata in lamellare, mentre il tetto è irrigidite da controventi in lamellare. I montanti principali incastrati assorbono le forze orizzontali dei carichi del vento.
Le tribune per 4500 spettatori e la pista sono anch'esse in legno. La copertura del tetto è in lamiera trapezoidale.

bb cc dd ee

1 Lamellare
2 × 16/133
+ 2 × 13,5/35
2 Lamellare
13,5/135
3 Lamellare
2 × 11/80,5
+ 3 × 16/80,5
4 Lamellare
2 × 11/35,5
+ 2 × 11/57,5
5 Tubo a sezione quadrata
400/600/8 mm
6 Pilastro
di cemento
∅ 300 cm

Nodi di struttura reticolare nel centro della campata con montante e due diagonali

Piastre nodali intagliate
con diagonali in barra di acciaio

Corrente inferiore in due parti
con lamiere nodali chiodate

Tirante in acciaio e diagonali tese
con coprigiunti in acciaio

Tirante a U con perni di cerniera

Nodi di struttura reticolare, capriate reticolari a triangolo, dal lato sinistro fino a centro campata

Diagonali semplici, connessione con lamiera chiodata, connettori ad anello semplici e perni filettati

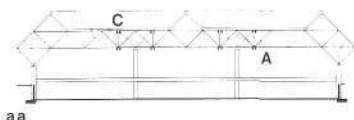
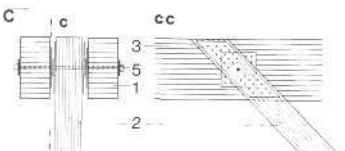
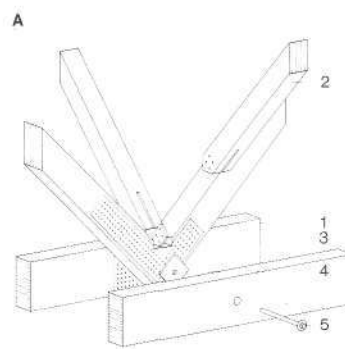
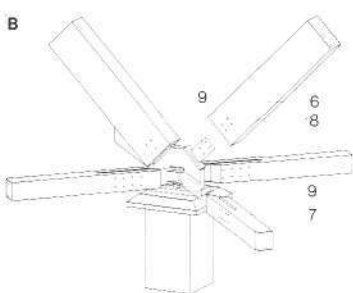
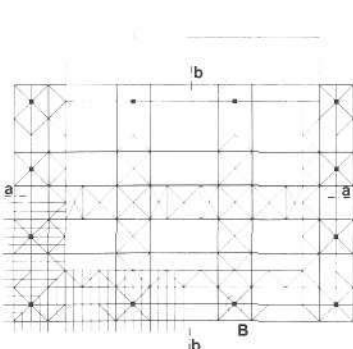
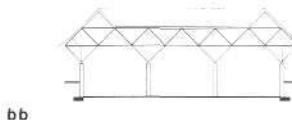
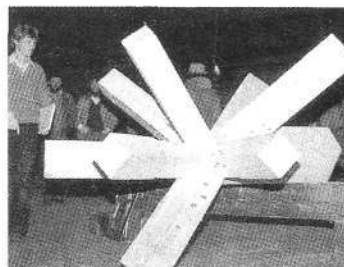
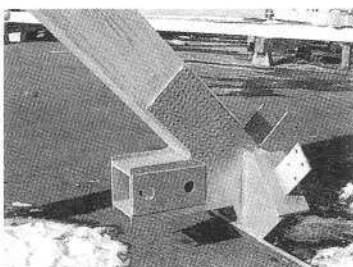
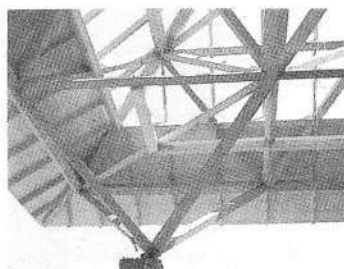
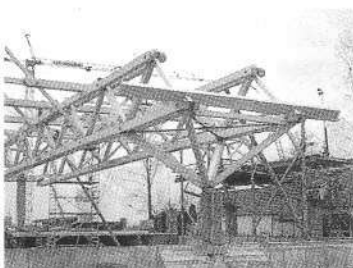
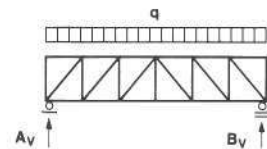
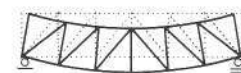
Diagonali composte, connessioni come sopra, asta compressa con incastro

Diagonali multiple, connessione come sopra

Montante con connettore ad anello e perni filettati fissato al corrente inferiore, diagonali con coprigiunti di legno fissate alla mensola inferiore

27 • Palestra

Eching, Germania; 1984

Architetti: Wagner, Wanner, Falterer, Dietersheim

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione Natterere Dìttrich, Monaco

Una costruzione a struttura reticolare copre una palestra di dimensioni 30 x 45 m. Travi reticolari in correnti di lamellare allargati e diagonali di lamellare semplice formano il sistema di travi principale in direzione trasversale del padiglione. Le risultanti di appoggio di due travi vengono riunite in un pilastro di cemento tramite quattro puntoni disposti nello spazio. I telai reticolari sporgenti che racchiudono il settore perimetrale garantiscono la stabilizzazione complessiva. Le travi secondarie in legno lamellare hanno andamento longitudinale sopra I correnti superiori e sono supportate contro i correnti inferiori tramite contraffisso. Sopra dì essi le travi Gerber in legno massello sostengono un assito che funge da lastra di irrigidimento.

1 Lamellare 20/36
2 Lamellare 16/16
3 Lamiera chiodata
4 Lamiera di rinforzo
5 Bullone
6 Lamellare 24/40
7 Lamellare 20/20
8 Spina
9 Lamiera intagliata

Strutture portanti

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito

Deformazione

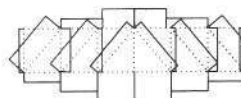
Calcolo approssimativo ai sensi della norma DIN 1052, tab. 9:

$$f = \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{E \cdot J}$$

con: $J = \sum A_i \cdot a_i^2$

- l Luce
- E Modulo elastico
- A_i Superficie trasversale del corrente
- a_i Distanze dei baricentri dei correnti dall'asse baricentrico della struttura reticolare

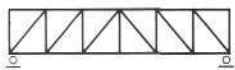
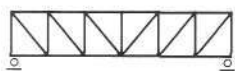
Momenti nel corrente superiore con carico uniformemente distribuito

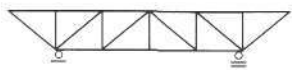
Sforzo di taglio nel corrente superiore

Sforzo normale

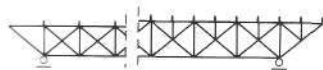
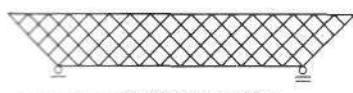
Diagonali: $N = \frac{q \cdot l}{2 \cdot \sin \alpha}$

Resistenze del corrente: $N = \frac{q \cdot l^2}{8 \cdot h}$

Travi a una campata

Struttura reticolare parallela

con montanti e diagonali compresse

con montanti e diagonali tese

con montanti e diagonali incrociate

con sporgenza

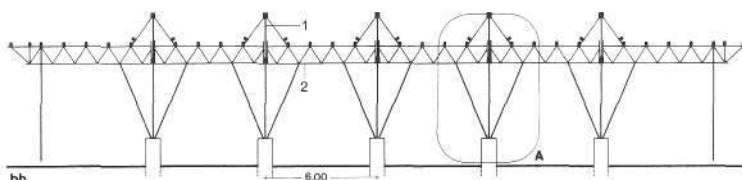
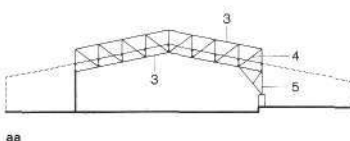
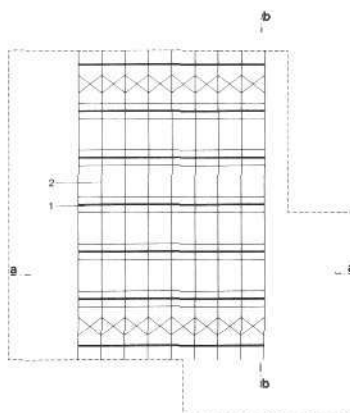
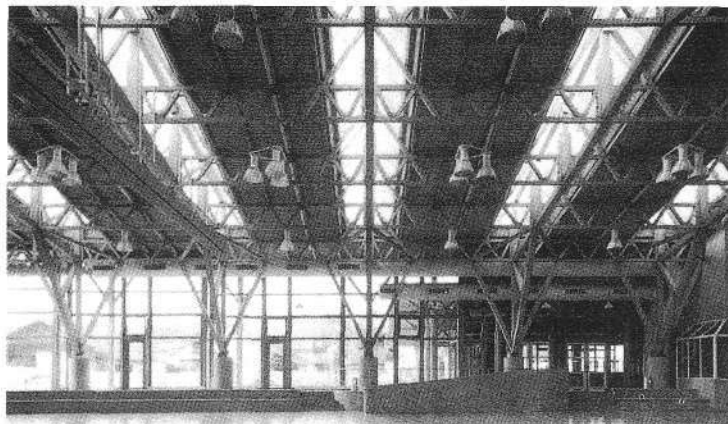
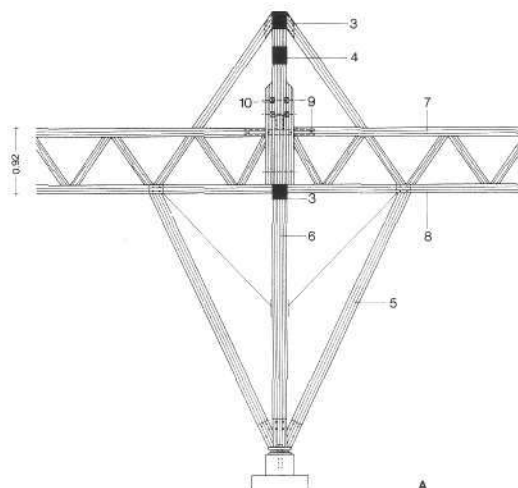
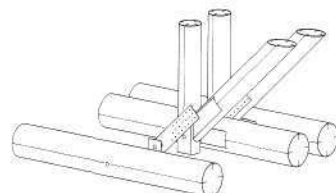
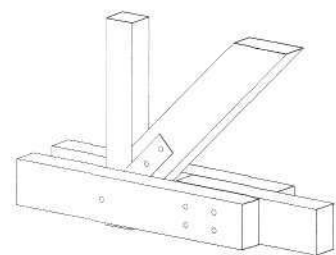
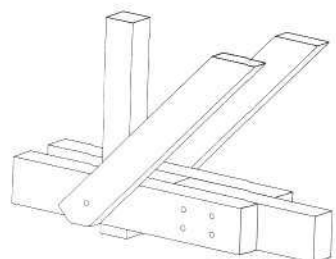
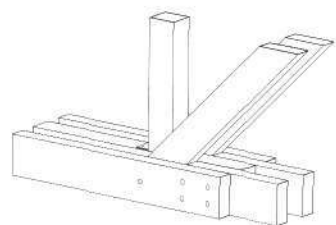
con corrente inferiore sollevato (trave sospesa)

con montanti intermedi per arcarecci

come struttura reticolare multipla a rombo con sporgenza

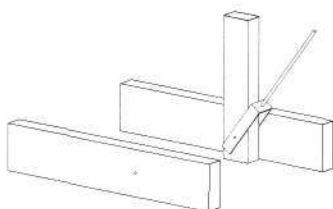
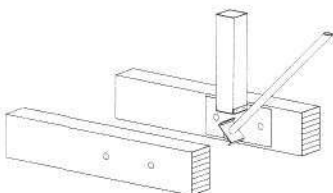
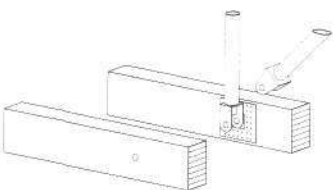
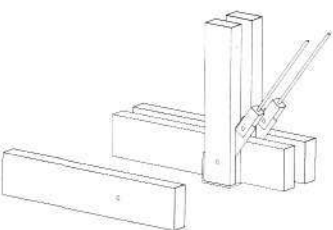
28 • Padiglione polivalente

Westerheim, Germania: 1981-84

Architetto: D. Juranek, Ludwigsburg

Ingegnere strutturista: R Hàussermann, Stoccarda

Costruzione in travi reticolari secondo il metodo Greim per un padiglione polivalente di dimensioni 21 x 36 m. I telai reticolari inclinati secondo il metodo Greim posti a intervalli di 6 m con luce di 24 m poggiano, da un lato, su una parete di calcestruzzo e dall'altro su piloni circolari di calcestruzzo incastrati. Il corrente superiore forma con le diagonali trasversali la sottostruttura degli abbaini. Collegamento delle travi reticolari secondarie alte 92 cm secondo il metodo Greim nei punti nodali delle travi principali. Sui lati del timpano esse vengono sostenute da montanti incrociati. Stabilizzazione traversale tramite le impalcature del tetto nelle campate perimetrali, i montanti di legno allargati e la parete di calcestruzzo. Tutte le restanti connessioni di iegno sono eseguite con perni e lamiere intagliate. Tra i lucernari travi di colmo continue sostengono la solettina.

1 Trave principale
2 Trave secondaria
3 Corrente superiore e inferiore 24/20
4 16/20
5 Puntone 28/20
6 Montante 16/20
7 Corrente superiore e aste 12/12
8 Corrente inferiore 12/16
9 Bullone M 24
10 Connettore Geka

Nodi di struttura reticolare con diagonali in legno

Costruzione in legno a sezione circolare con perni di cerniera

Diagonale semplice con coprigiunti di acciaio e connettori ad anello semplici

Corrente doppio e diagonali, giunto nel corrente inferiore

Corrente multiplo e diagonali con giunzione

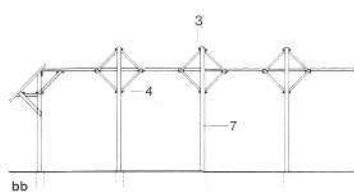
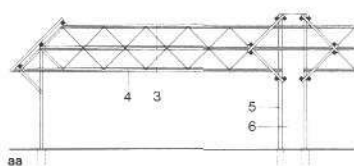
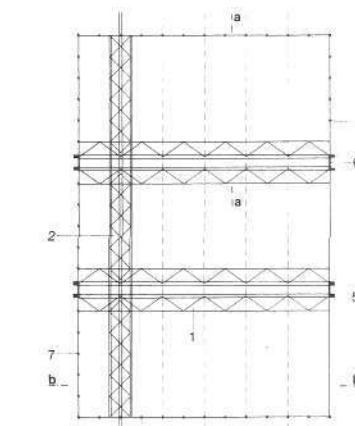
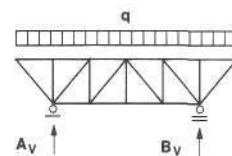
Nodi di struttura reticolare con diagonali in acciaio

Corrente inferiore in due parti, asta tesa con coprigiunto

Diagonale in acciaio regolabile

Diagonali e montanti in tubo d'acciaio con piastra chiodata e perni di cerniera

Montanti, diagonali e corrente inferiore multipli

29 • Palestra

Reichenbach, Germania: 1981

Architetti: Kilpper e associati (ora Rutschmann e associati), Stoccarda

Ingegnere strutturista: U. Otto. Stoccarda

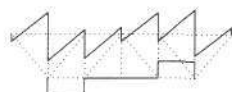
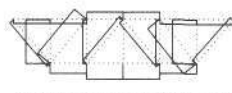
Travi secondarie e travi principali reticolari nello spazio coprono la palestra a tre scompartì di dimensioni 45 x 30 m. Nei due assi delle pareti divisorie travi reticolari a triangolo doppie con montanti alti 4 m incastrati nel traverso formane il sistema portante principale. Ogni traliccio scatolare a triangolo è composto esclusivamente da aste di lamellare da 20/20. che si intersecano in diversi piani. Le aste longitudinali disposte a coppie sono rinforzate nei punti nodali da un raddoppio di sezione con mensole e sono collegate alle diagonali inclinate. L'altezza strutturale tra corrente superiore e inferiore è di 3.54 m. Le travi secondarie sono conformate come struttura reticolare a rombi secondo lo stesso principio. Esse possiedono un'altezza di 2,5 m e penetrano nelle aste delle travi principali. Gli arcarecci continui sono disposti perpendicolarmente al sistema secondario. Sopra di essi un assito a mortisa sostiene la struttura del tetto.

1 Trave principale
2 Trave secondaria
3 Corrente superiore in lamellare 2 × 20/20
4 Corrente inferiore in lamellare 2 × 20/20
5 Montante principale in lamellare 20/60
6 Legno di riempimento
7 Montante in lamellare 12/24

Strutture portanti, struttura reticolare parallela con sporgenza

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito

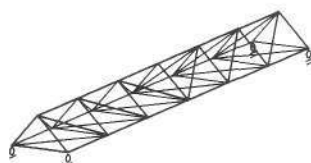
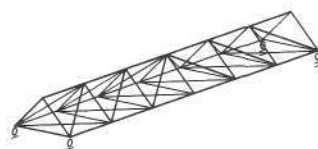
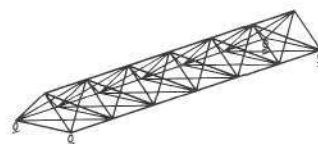
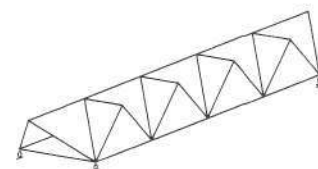
Deformazione:

Calcolo approssimativo ai sensi della norma DIN 1052, tab. 9:

$$f = \sum \frac{N_i \cdot \bar{N}_i}{E_i \cdot A_i} \cdot l_i$$

N_i Resistenza dell'asta rispetto al carico esterno
$\bar{N}_i$ Resistenza dell'asta rispetto a un carico virtuale "1" che si presenta al posto dell'inflessione desiderata
E_i Modulo elastico
A_i Superfici di sezione
l_i Lunghezze dell'asta

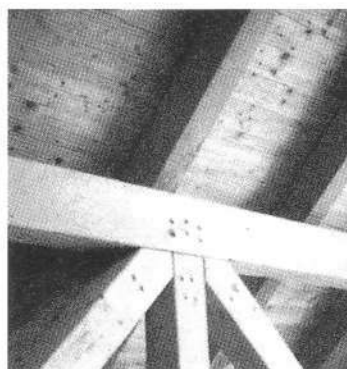
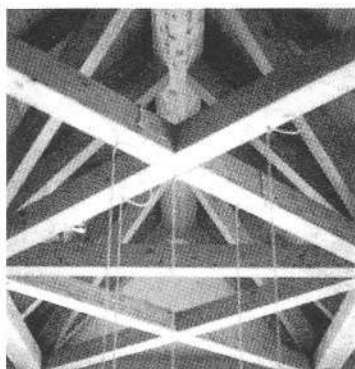
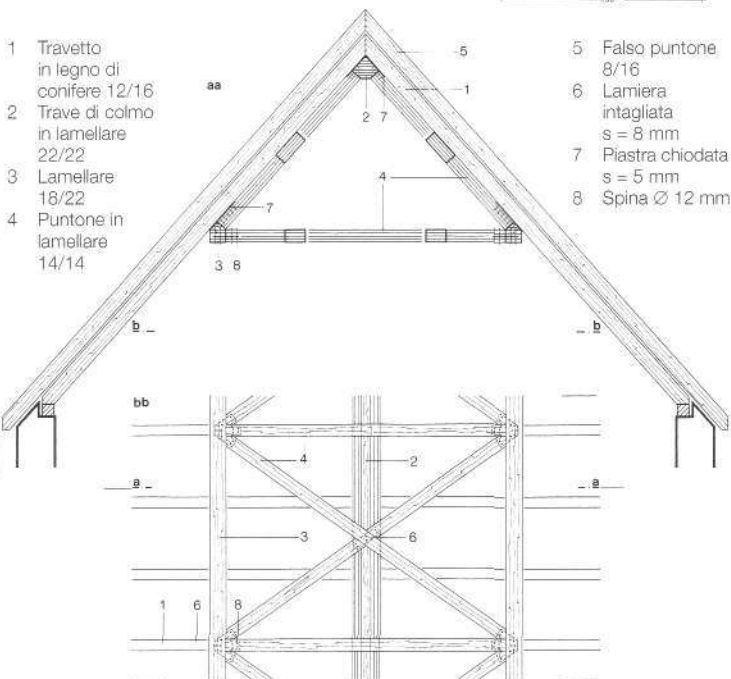
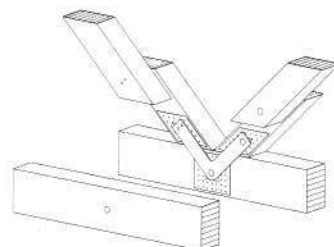
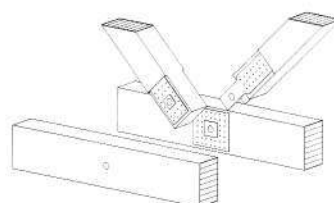
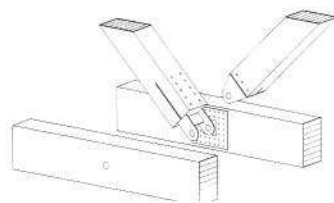
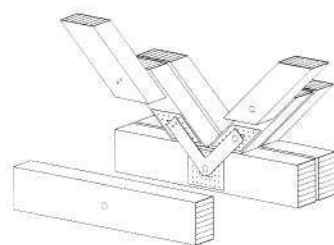
Andamento dei momenti

Andamento dello sforzo di taglio

Andamento dello sforzo normale

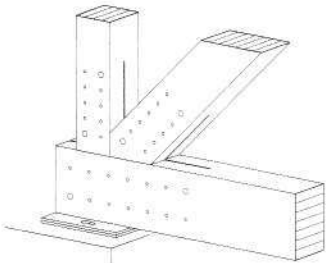
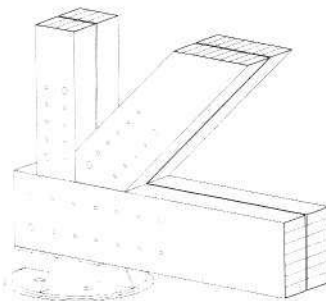
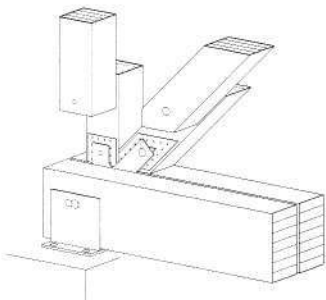
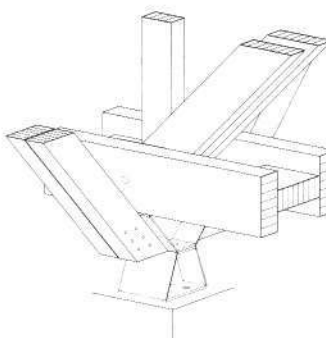
Strutture reticolari a una campata disposte nello spazio

con diagonali tese discendenti
e montanti

con montanti e diagonali compresse

con montanti e diagonali incrociate

30 • Asilo infantile

Monaco, Germania: 1987

Architetto: M. Karpf, Taufkirchen

ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterere Dittrich, Monaco

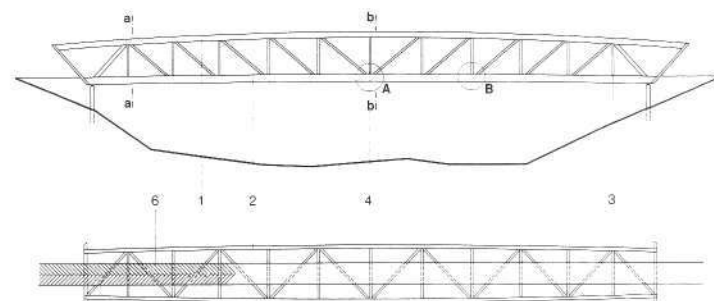
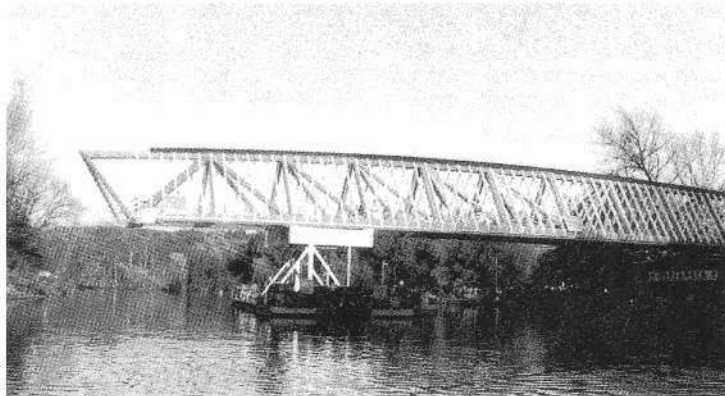
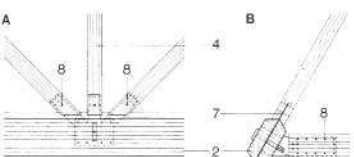
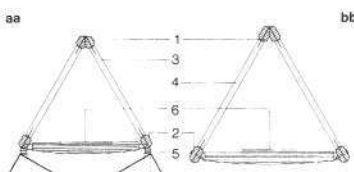
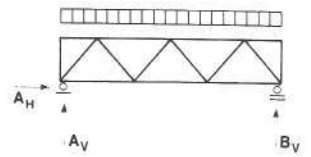
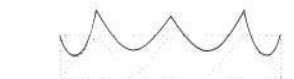
La costruzione del tetto a due falde è stata realizzata con diversi sistemi mantenendo lo stesso profilo del tetto, in modo da ottenere il profilo spaziale della luce desiderato. Nel settore privo di soffitto intermedio è stato scelto un tetto a controcatena. Un controvento a croce in legno nel piano della catena è fissato in posizione al muro di frontespizio. Tramite elementi di irrigidimento in legno nella zona del colmo del piano del tette si viene a creare una trave reticolare a triangolo nello spazio, che sostiene i carichi orizzontali e verticali tra i muri sormontati da timpani. Nel settore con soffitto intermedio una costruzione semplice a palconcelli forma il sistema del tetto; il solaio sostiene i carichi orizzontali, i palconcelli sono rinforzati localmente tramite tenaglie, in modo da formare una struttura portante con catena scorrevole. Le connessioni sono state eseguite con elementi in acciaio intagliati e viti calibrate. Una copertura di legno spessa 28 mm provvede a irrigidire il piano del tetto.

Nodi di struttura reticolare con diagonali ascendenti e discendenti

con piastre chiodate e perni di cerniera

con piastre chiodate e perni di cerniera, corrente inferiore allargato

con piastra intagliata
e coprigiunti di acciaio

con corrente in tre parti

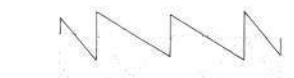
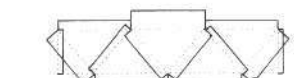
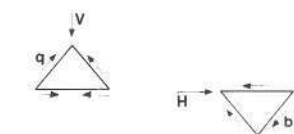
Appoggi per travi reticolari

con piastra di acciaio intagliata e incavicchiata

aste doppie con piastra di acciaio interna incavicchiata

asta doppia con piastra chiodata interna e perni di cerniera

corrente multiplo, disposto nello spazio

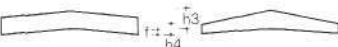
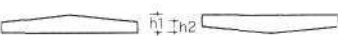
31 • Ponte sul fiume Neckar

Remseck, Germania; 1988-89

Architetti e ingegneri strutturisti:
E. Milbrandt, D. Sengler, Stoccarda

Ponte pedonale e ciclabile con struttura reticolare nello spazio per mezzo di una campata con iuce di 80 m. Tre travi reticolari collegate formano in sezione trasversale un triangolo equilatero con una lunghezza di base di 6,40 m sopra l'appoggio e di 7,56 m al centro della campata. Il corrente inferiore ricurvo doppio e il corrente superiore sono composti da sezioni smussate in lamellare in due parti con altezza variabile. Essi possiedono due giunti sull'intera lunghezza. La connessione alle aste reticolari viene effettuata per mezzo di elementi in acciaio intagliati e spine. La trave reticoiare funge da irrigidimento inferiore e sostiene le travi longitudinali del piano stradale. Tre travi in lamellare disposte orizzontalmente una accanto all'altra, ie superfici impermeabili, i traversi e un tavolato di abete rosso formano un impalcato largo 3 m. La struttura reticolare è coperta da lastre di vetro fissate a travetti di lamellare.

1 Corrente superiore
2 Corrente inferiore
3 Saettone in lamellare 24/30
4 Saettone in lamellare 30/30
5 Appoggio a rulli
6 Impalcato
7 Lamiera intagliata
8 Spina e vite calibrata Ø 20 mm

Strutture portanti, struttura reticolare parallela con diagonali ascendenti e discendenti

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito

Deformazione

Andamento dei momenti

Andamento dello sforzo di taglio

Andamento dello sforzo normale

Sezione trasversale

Sistemi portanti rappresentati in modo semplificato
Costruzione di tipo ad anima piena e a struttura reticolare

Varianti di vista verticale di travi
(dimensionamento per legno lamellare)

$h_1 = \frac{l}{14} - \frac{l}{18}$

$h_2 = \frac{l}{18} - \frac{l}{22}$

$h_3 = \frac{l}{14} - \frac{l}{18}$ $\quad \measuredangle = 6\text{-}15°$

$h_4 = \frac{l}{30} - \frac{l}{50}$ $\quad R \geq 6$ m

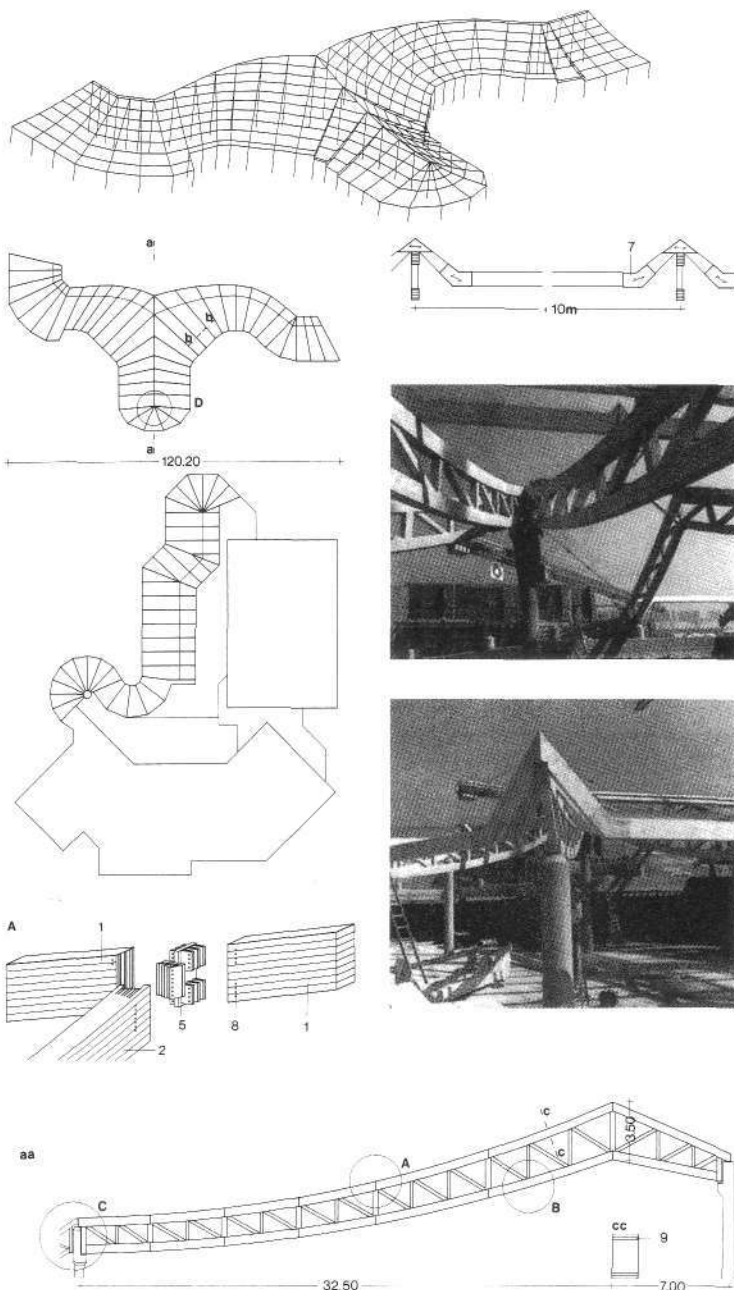
$h_5 = \frac{l}{14} - \frac{l}{18}$ $\quad f \leq \frac{l}{5} - \frac{l}{10}$

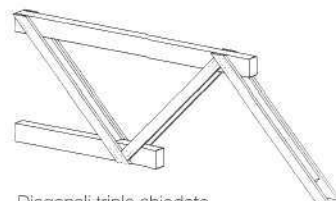
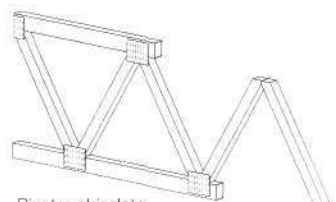
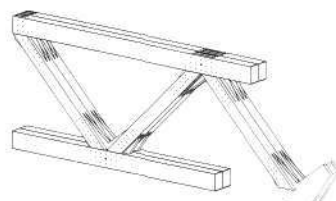
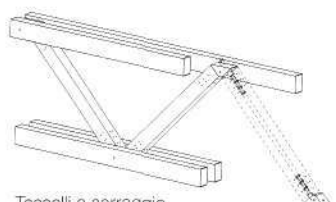
32 • Centro per lo shopping e il tempo libero "Sàntispark"

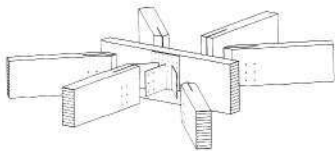
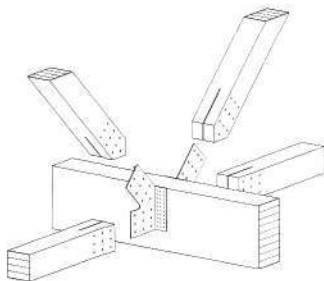
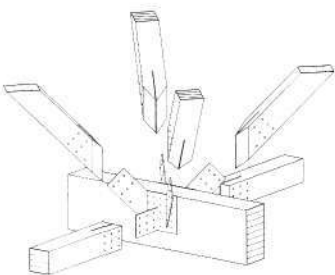
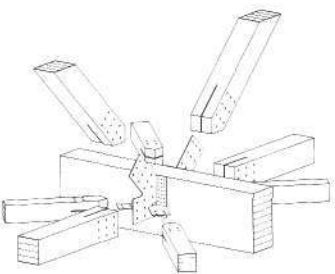
Abtwil, Svizzera; 1985

Architetti: Rausch, Ladner, Clerici AG, Rheineck, Svizzera

Ingegneri strutturisti: Steiner, Jucker & Blumer AG, Herisau, Svizzera

La superficie coperta del Sàntispark è di circa 13,000 m^2. La forma del tetto richiede un adeguato sistema di travi principali ad andamento irregolare. Nella zona della piscina con onde artificiali le travi reticolari, collegate lateralmente in modo rigido a una trave reticolare del graticcio, fungono da struttura portante nello spazio con una luce principale di 45 m. Sopra gli altri settori della piscina le capriate reticolari sostenute da due appoggi, con forma di tetto a una falda, costituiscono il sistema portante principale.

I correnti superiori e inferiori delle capriate reticolari non sono paralleli, la loro forma corrisponde a una parabola quadrata, le lunghezze sono per lo più diverse.
Il sistema portante principale della zona commerciale è composto da cinquanta travetti a una campata, con correnti paralleli, alti 1,1 m, ritorti, i quali sono disposti in parte uno accanto all'altro e a entrambe ie estremità dell'edificio a struttura reticolare. Essi sono parzialmente incastrati tramite gli appoggi, giacenti su pilastri di calcestruzzo e ancorati. I correnti inferiori e superiori sono rappresentati da segmenti circolari concentrici mentre la copertura del tetto segue una parabola cubica.
Nell'impianto della piscina e nella zona commerciale la stabilizzazione delle capriate reticolari avviene tramite staffe nell'area della gronda e del colmo. Le strutture portanti secondarie sono composte da arcarecci dalla geometria molto varia mentre un assito del tetto ha la funzione di irrigidimento.

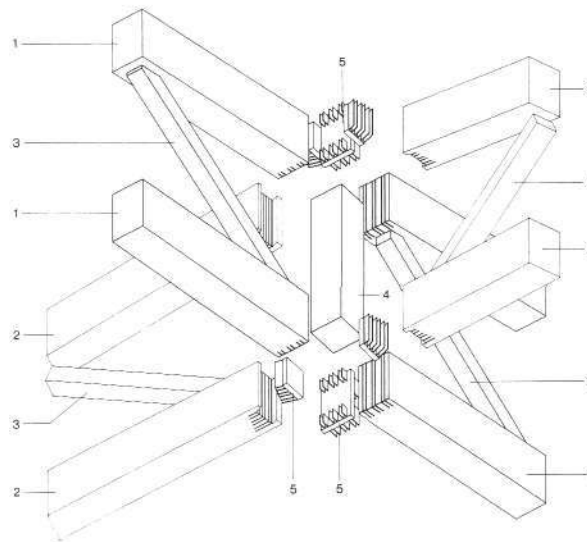
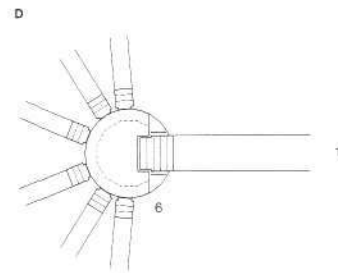
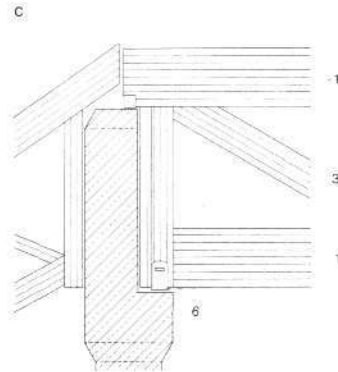
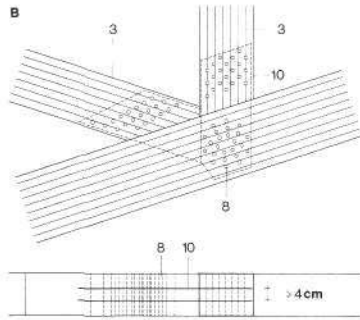
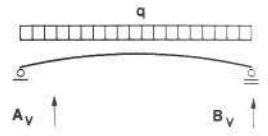
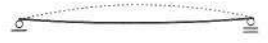
Sistema costruttivo reticolare

Diagonali triple chiodate

Piastre chiodate

Sistema costruttivo tipo Greim

Tasselli a serraggio con elementi di lamiera sagomata

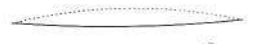
Varianti di geometria
Travi principali – travi secondarie

sei aste in un piano

quattro aste perpendicolari e diagonali alla trave principale

sei aste perpendicolari e diagonali posate nello spazio rispetto alla trave principale

otto aste sulla trave principale

1 Lamellare 32/53
2 Lamellare 32/49
3 Lamellare 16/20
4 Lamellare 32/32
5 Elemento in acciaio s = 5 mm ovvero 50 mm
6 Staffa di appoggio in acciaio
7 Coprigiunti in compensato
8 Viti calibrate M 16
9 Due lamelle in legno di quercia ognuno
10 Piastra di lamiera intagliata

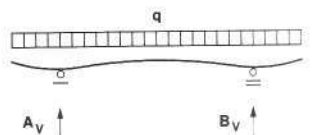
C

B

D

Trave ricurva a una campata con e senza sporgenza

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito

Deformazione:

$$\max v = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot J}$$

Momenti: $\max M = \frac{q \cdot l^2}{8}$

Sforzo di taglio

Sforzo normale

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale

Travi rinforzate inferiormente

Trave triangolare

Trave trapezoidale con flessione nel corrente per carichi unilaterali

Trave trapezoidale composta da travi triangolari sovrapposte

Trave a pesce non adatta per carichi unilaterali

Trave rinforzata inferiormente

$a = 3 \cdot h$

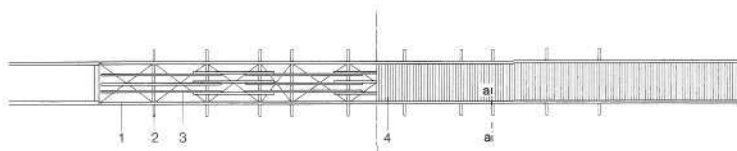
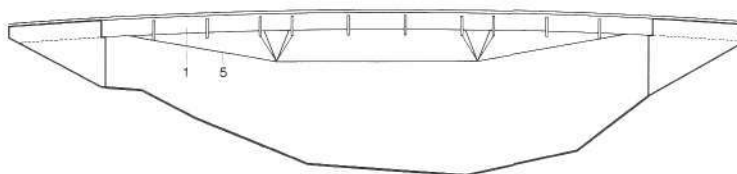
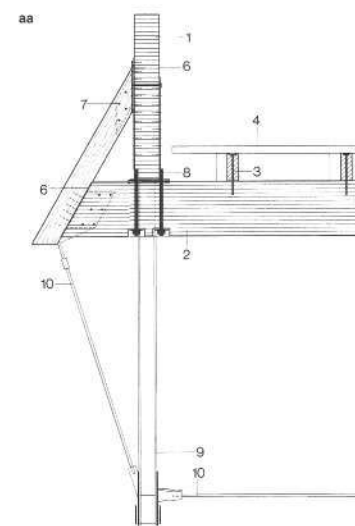
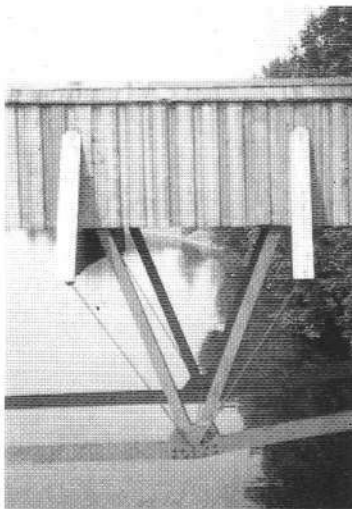
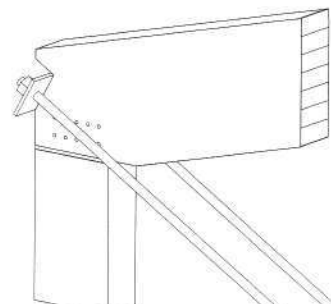
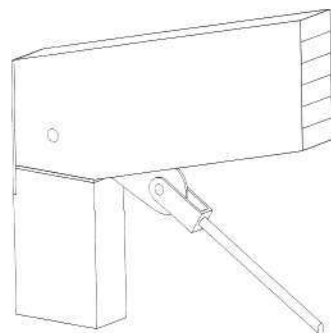
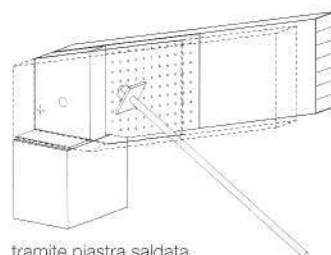
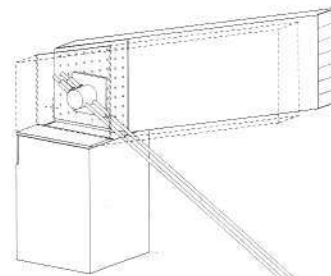
$h = \frac{l}{15} - \frac{l}{20}$

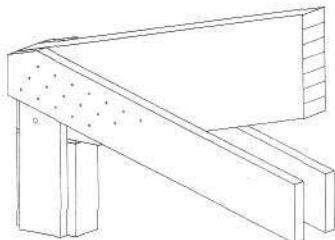
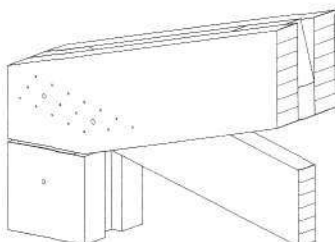
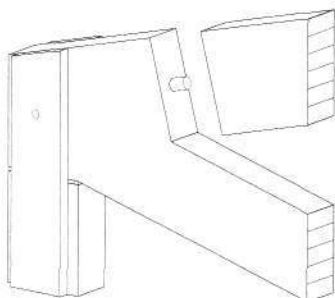
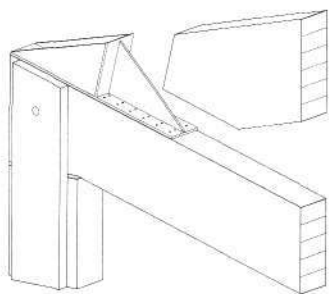
$l = 8\text{-}80$ m

33 • Ponte sul fiume Isar

Erding, Germania; 1985

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterer e Dittrich, Monaco

Il ponte pedonale e ciclabile rinforzato da tiranti inferiori presenta una campata con luce di 39,6 m. Le due capriate principali sono composte da travi principali in lamellare 18/120. che a ogni terzo sono supportate da puntoni a V in acciaio rinforzati da tiranti inferiori. Il rinforzo inferiore in elementi di acciaio piatto è fissato lateralmente nei punti nodali tramite elementi in tondino d'acciaio. Travi di colmo accoppiate con andamento longitudinale sostengono l'impalcato di tavole spesse 5 cm. I carichi vengono assorbiti da travi trasversali e scaricati tramite coprigiunti chiodati nelle travi principali. Le traverse sporgenti formano con i puntoni in lamellare un irrigidimento dì tipo a telaio delle travi principali. La struttura di irrigidimento orizzontale (diagonali di acciaio incrociate con diagonali trasversali) è situata orizzontalmente sotto l'impalcato. Le travi principali sono protette dagli agenti atmosferici da un corrimano in larice, una copertura di scandole sul late superiore e un tavolato su entrambi i lati.

1 Trave principale in lamellare 18/20
2 Trave trasversale in lamellare 18/36
3 Trave accoppiata
4 Tavola d = 5 cm
5 Rinforzo inferiore
6 Lamiera chiodata
7 Spina ∅ 12 mm
8 Perni filettati ∅ 24 mm
9 Barra di acciaio 2 × 140/8 mm
10 Asta di acciaio ∅ 16 mm

Connessione trave – rinforzo inferiore

con piastra di acciaio sul legno di testa

con angolare di acciaio intagliato sul legno di testa

tramite piastra saldata sulla lamiera chiodata

con perni di cerniera sulla piastra chiodata rinforzata

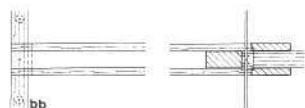
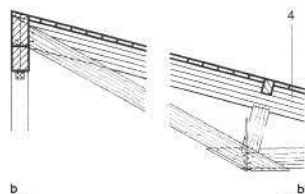
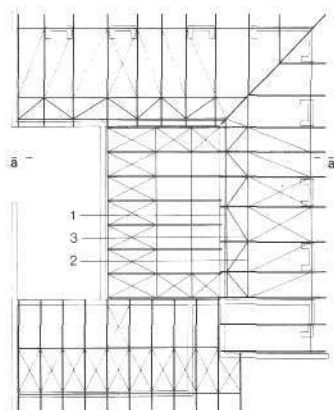
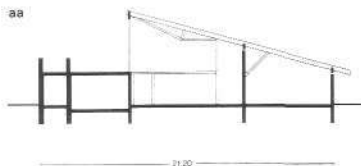
Connessione trave-struttura di rinforzo inferiore

Struttura di rinforzo inferiore in tavole, doppie

Struttura di rinforzo inferiore in lamellare, semplice, corrente doppio con legno di riempimento

con mensola

con staffa

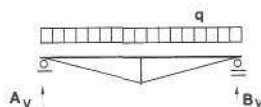
34 • Asilo infantile

Monaco, Germania; 1978

Architetti: Ufficio del Genio civile, Monaco

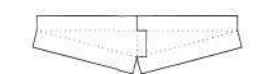
ingegneri strutturisti;
Società di progettazione
Natterere Dittrich, Monaco

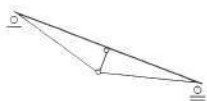
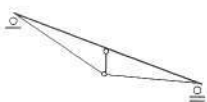
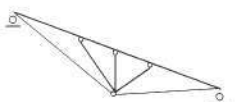
Un tetto a una falda a leggera pendenza copre la parte centrale dell'asilo. I travetti posti in direzione della pendenza a intervalli di un massimo di 2,4 m sostengono un tavolato in legno spesso 35 mm. Nella campata inferiore i travetti poggiano sulla parete esterna e su una trave reticolare inclinata, mentre nella campata superiore essi sono conformati come travi con rinforzo inferiore. Il loro corrente superiore è composto da una trave in lamellare rialzata, mentre i correnti tesi e i montanti sono in legno massello. Connessione dei correnti a due tagli con spina e connettori ad anello; connessione dell'elemento di rinforzo semplice con il corrente superiore mediante coprigiunti di legno incavicchiati. L'irrigidimento trasversale dei montanti nel piano del tetto è svolto da legni squadrati, nel piano del rinforzo inferiore tramite tondini d'acciaio. Le barre di acciaio poste sopra l'assito irrigidiscono il tetto come una lastra. I carichi ad azione orizzontale vengono assorbiti dalla muratura.

1 Corrente superiore in legno di conifere 18/18
2 Corrente inferiore in legno di conifere 18/18
3 Diagonale in legno di conifere 18/18
4 Lamellare 14/22
5 Rinforzo inferiore in legno di conifere 2 × 6/16
6 Lamellare 14/45
7 Travetto 14/26

Travi triangolari con rinforzo inferiore

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito

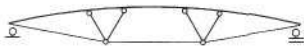
Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale

Travi rinforzate inferiormente con corrente teso in legno o acciaio

inclinato con puntone compresso, perpendicolarmente alla trave

inclinato con puntone compresso, verticale

inclinato con puntoni compressi multipli

con rinforzo inferiore semplice

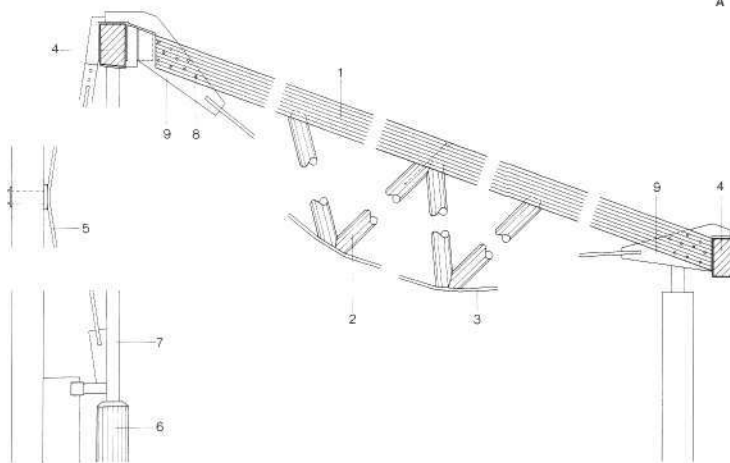
con rinforzo inferiore doppio

con rinforzo inferiore doppio mediante puntoni a V, trave sopraelevata

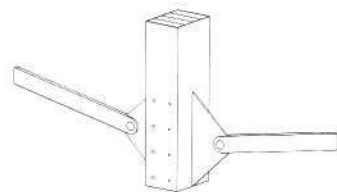
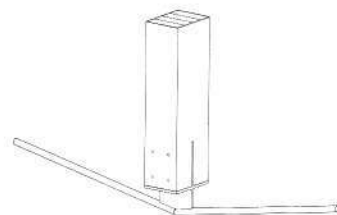
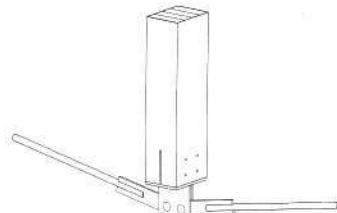
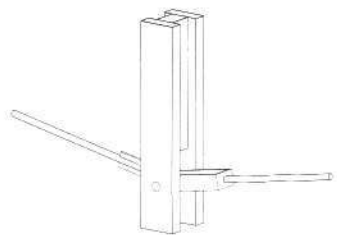
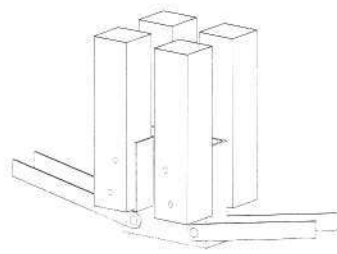
35 • Foresteria

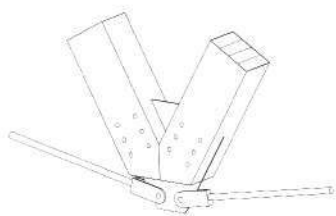
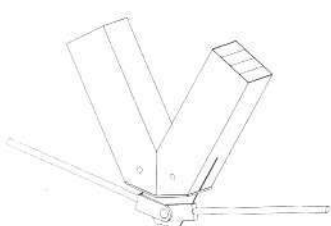
Baci Wòrishofen, Germania; 1983

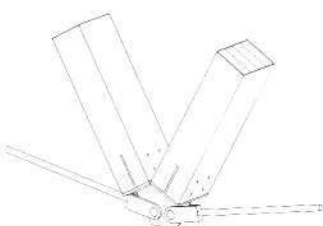
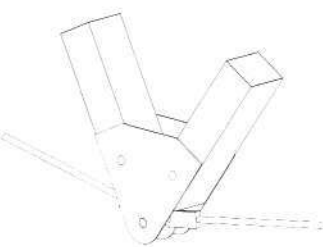
Architetti: Atelier 4, Gràfelfing

ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterer e Dittrich, Monaco

Il tetto di vetro del cortile interno è realizzato con travi su montanti a V rinforzati da tiranti inferiori. La luce varia tra 6,7 e 12,5 m. I puntoni a V a sezione circolare di lamellare sono collegati con spine al corrente superiore in lamellare. Il rinforzo inferiore è in tondino di acciaio. Le travi in lamellare su montanti in lamellare a sezione circolare formano gli appoggi perimetrali variabili. Fissaggio laterale del rinforzo inferiore per mezzo di aste tese disposte ad arco, ancorate agli angoli delle pareti sormontate da timpano, montanti oscillanti, alti oltre 7 m, sono collegati tramite bulloni di acciaio alle pareti di calcestruzzo attigue in modo da ottenere punti fissi orizzontali.

1 Trave in lamellare 18/24
2 Puntone a V in lamellare ∅ 25 mm
3 Rinforzo inferiore in acciaio ∅ 24 mm
4 Trave perimetrale in lamellare 18/24
5 Asta tesa ∅ 24 mm
6 Montante oscillante in lamellare ∅ 25 mm
7 Tubo di acciaio
8 Spina ∅ 18 mm
9 Lamiera intagliata s = 10 mm

Connessione rinforzo inferiore al puntone compresso

Lamiera incavicchiata con connessioni a cerniera

Lamiera incavicchiata con piastra, asta tesa saldata

Lamiera incavicchiata con piastra di compressione, asta tesa collegata a cerniera

Connessione a cerniera al puntone in tre parti con tasselli o perni di cerniera

Connessione al puntone quadruplo con nodi in acciaio

Connessione di rinforzo inferiore ai puntoni compressi

Lamiera incavicchiata con connessioni articolate

Lamiera incavicchiata con connessioni articolate

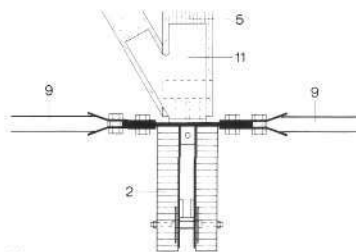
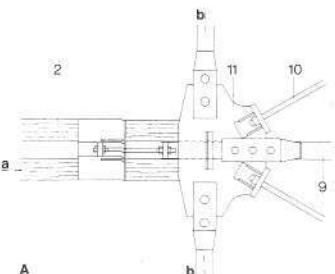
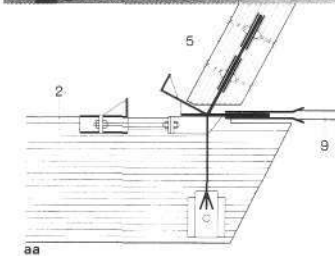
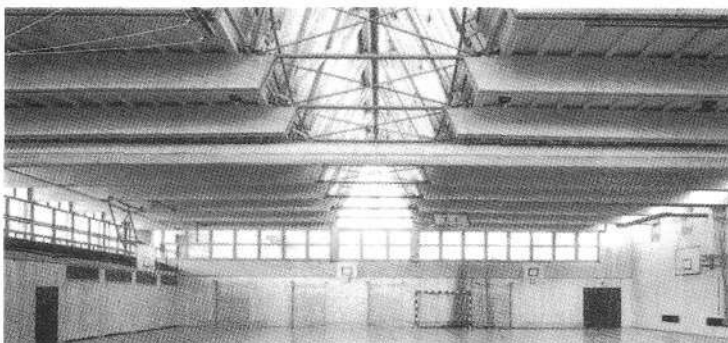
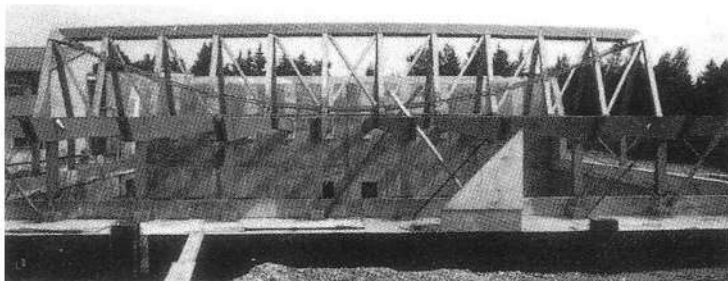
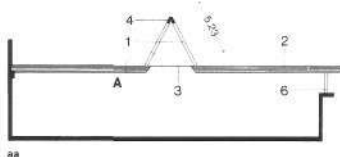
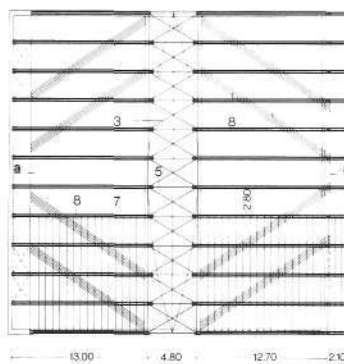
Lamiera incavicchiata con piastra, tirante saldato

Lamiera incavicchiata, piastra perpendicolare alla fibratura del puntone

Connessione posta esternamente con connettore di acciaio su piastra di acciaio

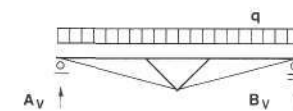
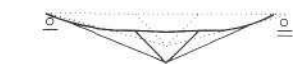
36 • Palestra di una scuola media

Vaterstetten. Germania; 1983

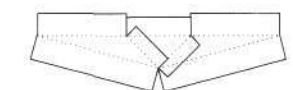
Architetto: H. Caspari, Monaco

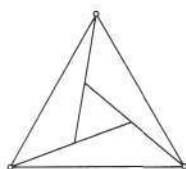
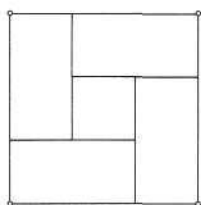
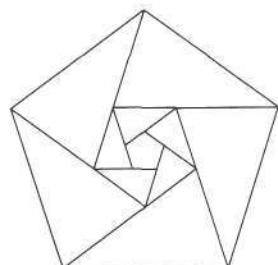
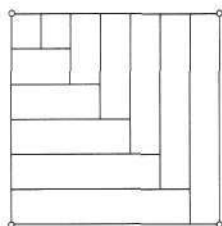
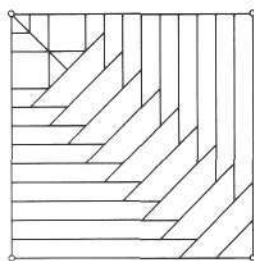
Ingegnere strutturista:
D. Herrschmann, Monaco

Palestra a due scomparti con pianta quasi quadrata, rinforzata al centro da una trave reticolare spaziale con luce di 30,8 m. Corrente superiore composto da due travi in lamellare reciprocamente inclinate, corrente inferiore in asta di acciaio, tamponamento con montanti in lamellare e tiranti a parabola. Cessione dei carichi su montanti oscillanti. Travi trasversali orizzontali bilaterali sospese ogni 2,80 m alle capriate principali. Sopra di esse travi Gerber, legno squadrato e assito. Irrigidimento del piano del tetto tramite tavole disposte diagonalmente e controventi tra i correnti inferiori della trave principale. Struttura in iegno per la stabilizzazione della parte sopraelevata del tetto. Assorbimento delle forze orizzontali per mezzo delle pareti di calcestruzzo a nord e a sud.

1 Trave reticolare
2 Trave trasversale 2 × 12/70
3 Tiranti in acciaio
4 Corrente superiore 2 × 28/62
5 Montante 28/28
6 Appoggi 28/28, 28/32
7 Arcarecci
8 Tavole per irrigidimento
9 Tubo di acciaio Ø 89 mm
10 Tondino di acciaio Ø 35 mm
11 Piastra nodale s = 20 mm

Trave a una campata rinforzata inferiormente con puntoni compressi a V

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale

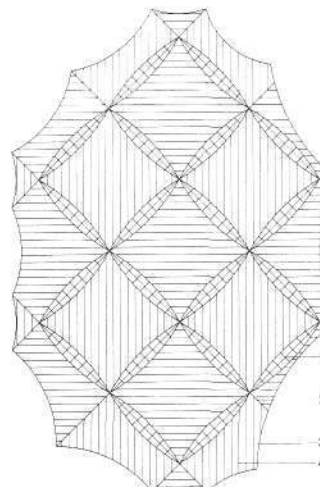
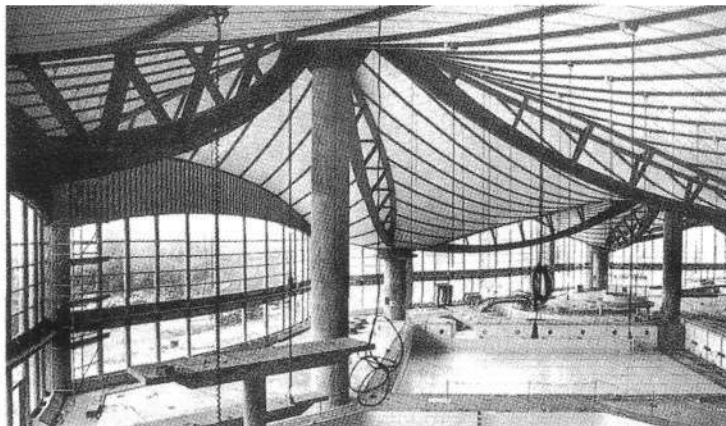
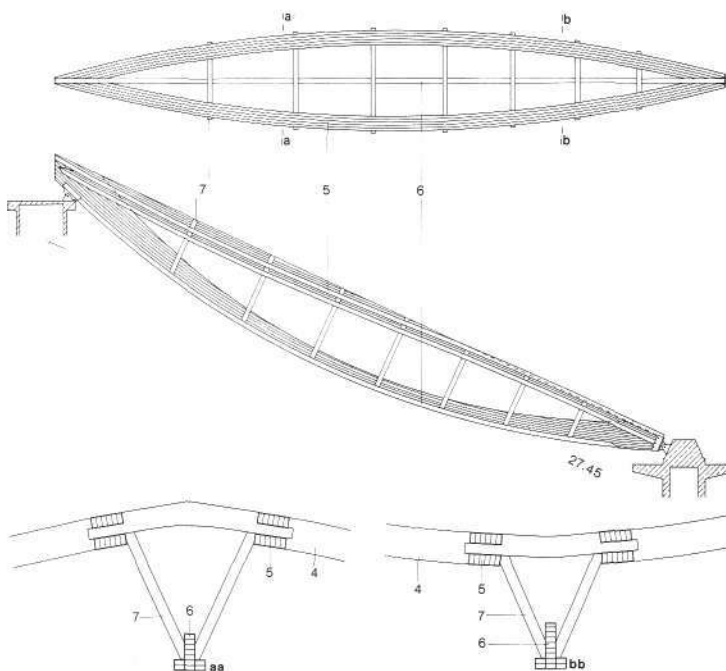
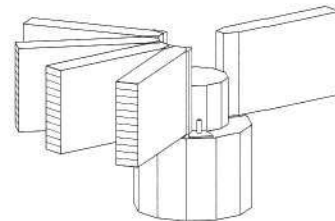
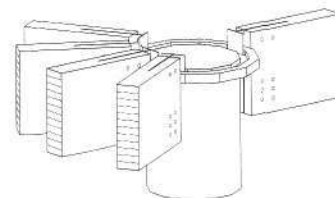
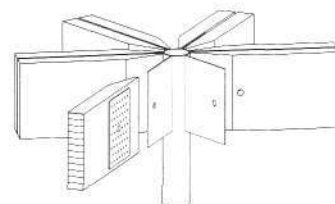
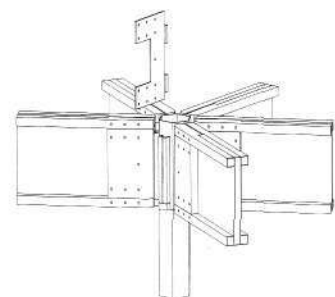
Graticci di travetti composti dalla connessione di travi a una campata

su pianta triangolare

su pianta quadrata

su pianta pentagonale

disposizione a gradini

disposizione a gradini doppi

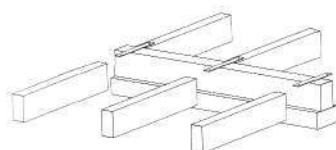
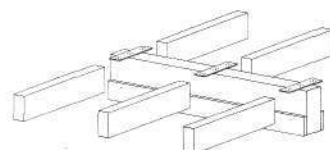
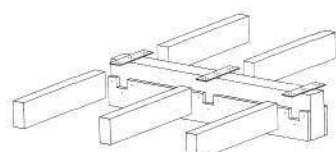
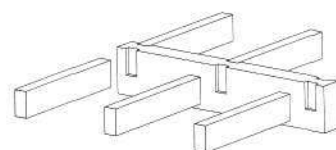
37 • Piscina coperta

Francoforte sul Meno, Germania; 1979-82

Architetti: Fischer, Glaser, Kretschmer, Fleft, Francoforte sul Meno

Ingegnere strutturista: W. Prüfer, Butzbach-Ebersgòns

Copertura di una piscina da 8450 m^2 con un reticolo diagonale di montanti con lato lungo 27,22 m. Travi principali tra i pilastri dì cemento sotto forma di travi spaziali a pesce composte da correnti incollati ricurvi. Costoloni tesi di lamellare con andamento sopra le diagonali e assito del tetto in direzione dell'arco di compressione composto da tavole da 50 mm con doppia scanalatura formano una parabola iperbolica doppiamente ricurva. Dimensionamento dei costoloni nelle campate perimetrali come travi flessibili. Travi perimetrali sollecitate a flessione e torsione. Stabilizzazione complessiva tramite effetto portante lastra dell'assito e pilastri di cemento incastrati. Strato di rivestimento del tetto ignifugo, materasso di fibra di vetro e foglio in PVC posato sull'assito. Montaggio delle travi principali in officina e installazione sul posto tramite gru.

1 Trave principale
2 Trave secondaria
3 Trave perimetrale
4 Costoloni tesi
5 Corrente superiore 2 × 26/60
6 Corrente inferiore h = 58-100
7 Elemento ligneo di collegamento

Appoggio centrale

su pilastri di cemento, fissaggio in posizione per mezzo di caviglie di acciaio

Anello di acciaio con sbalzo circolare, travi sospese tramite piattabanda su ala incavicchiata

Tubo di acciaio con ali saldate, connessione tramite perni di cerniera

Tubo di acciaio con guide saldate, travi sospese

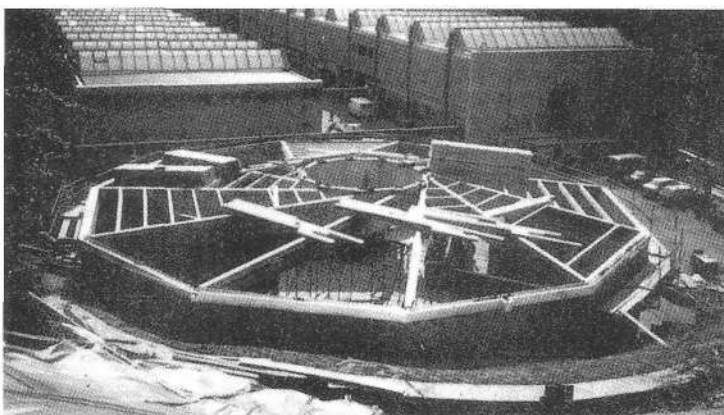
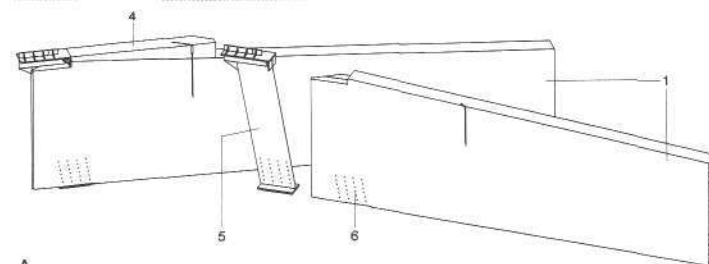
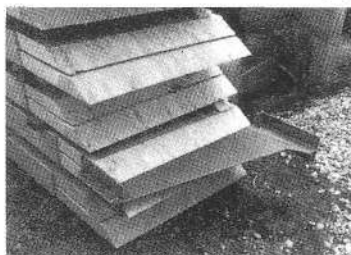
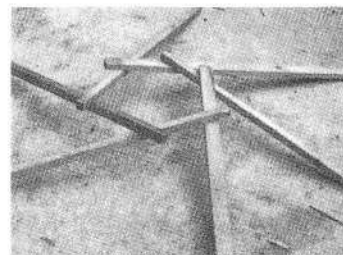
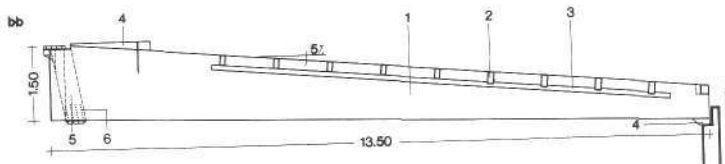
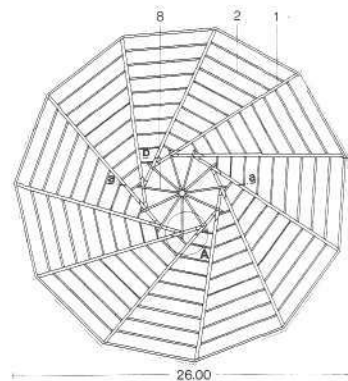
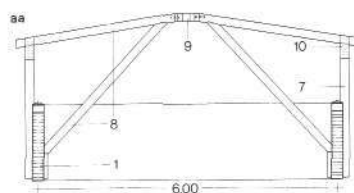
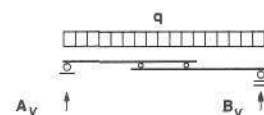
Appoggio di travi principali e secondarie

Trave principale con fresatura di stabilizzazione

Corrente di appoggio e coprigiunti tesi chiodati

Corrente di appoggio chiodato con intagli

Appoggio su sezione composta

38 • Capannone per deposito di sale

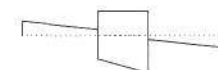
Losanna, Svizzera; 1989

Architetti: Atelier Gamme Architecture, Losanna

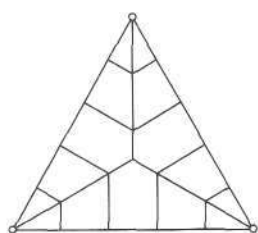
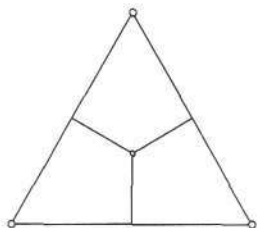
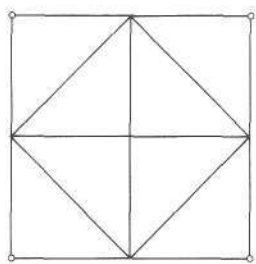
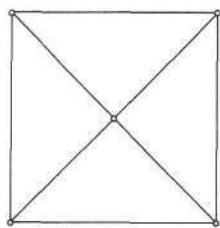
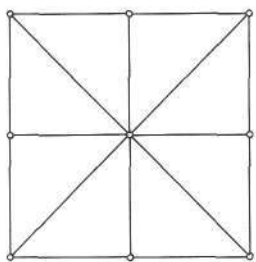
ingegneri strutturisti:
Natterer Bois-Consulf-, Etoy, Svizzera

Il padiglione ha undici angoli in pianta e diametro complessivo di 26 m. Pareti laterali in cemento armato. Sistema portante principale in graticcio di travi (undici travi in lamellare lunghe 13,5 m, appoggiate sul muro di cemento o sulle travi adiacenti). Punti nodali interni formati come nodi articolati Gerber, in quanto si verifica soltanto la trasmissione dello sforzo dì taglio. Sistema di travi secondarie composte da arcarecci in legno squadrato disposti parallelamente alle pareti laterali. Un tavolato spesso 30 mm con pellicola sigillante incollata riveste il tetto. Cupola a lucernario con costruzione in legno squadrato posta nel punto centrale.

Sistema di graticcio di travetti

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale N = 0

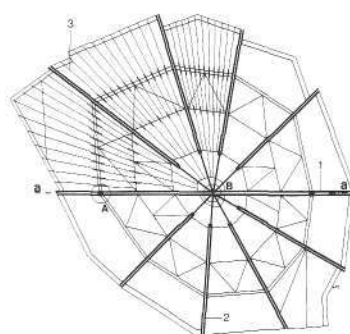
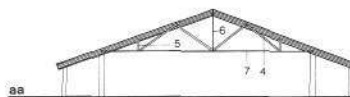
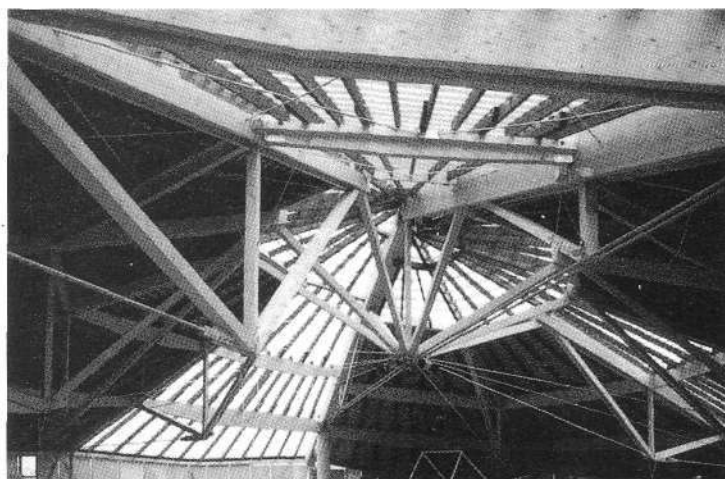
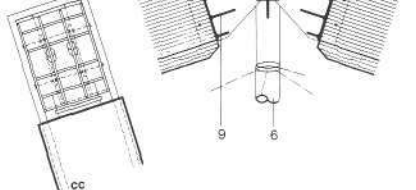
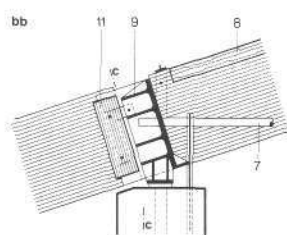
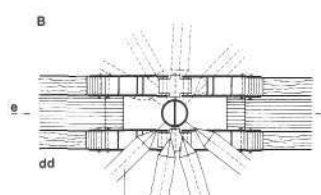
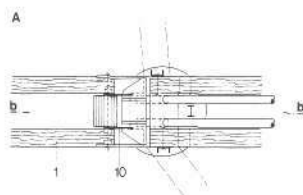
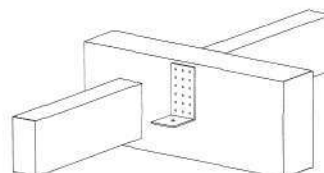
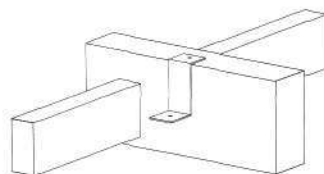
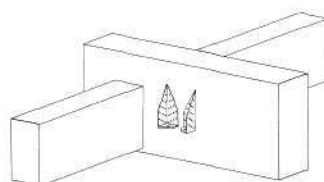
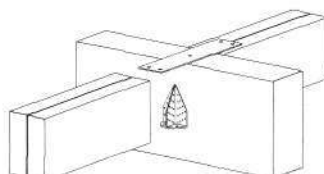
Esempi di geometrie di strutture portanti

Disposizione a stella

Quadrato racchiuso con diagonali principali

Diagonali principali che si incrociano

Diagonali principali con reticolo secondario quadrato

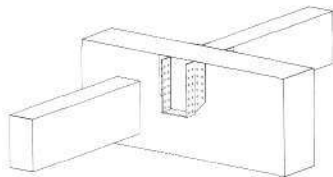
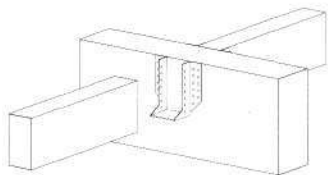
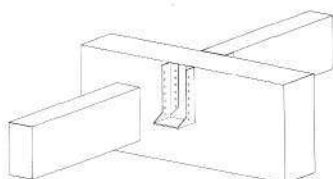
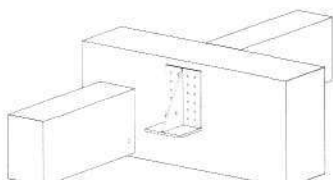
39 • Copertura di uno scavo

WeiBenburg, Germania; 197S

Architetto: G. W. Wòrrlein, Norimberga

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterer e Dittrich, Monaco

Una costruzione a struttura reticolare nello spazio sostiene la copertura a tenda dello scavo. Tra i due pilastri principali in cemento una trave reticolare centrale si estende per 36,6 m. La capriata a forma di tetto a due falde è composta da correnti superiori doppi in lamellare, diagonali in lamellare ed elementi tesi doppi in tondo di acciaio. Nel punto di colmo assorbe i carichi delle dieci travi secondarie ad andamento radiale, composte da correnti superiori, diagonali in lamellare e tondini di acciaio. Gli arcarecci con andamento tangenziale sono realizzati in lamellare e sono parzialmente rinforzati sulla parte inferiore. I carichi orizzontali del vento e la stabilizzazione dei correnti sottoposti a compressione vengono trasmessi ai montanti principali incastrati da due strutture di irrigidimento disposte a semicerchio.

1 Trave principale in lamellare 2 × 16/86
2 Trave secondaria
3 Travetti accoppiati
4 Diagonali 24/24; 16/24
5 Asta verticale 24/10
6 ∅ 245 × 12,5
7 2 × ∅ 75 mm
8 16/30
9 Piastra di acciaio con irrigidimenti
10 Lamiera nodale
11 Legno di copertura
12 Connessione di capriata secondaria

Appoggio trave secondaria – trave principale

Angolare rigido, chiodato e coperto

Appoggio a Z

Triangoli esterni

Triangoli interni

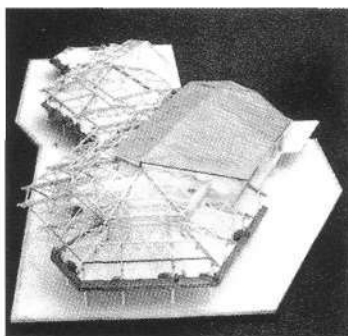
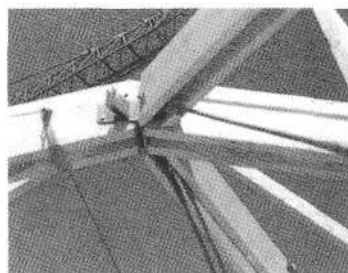
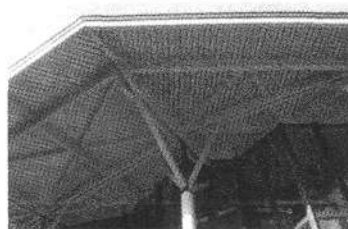
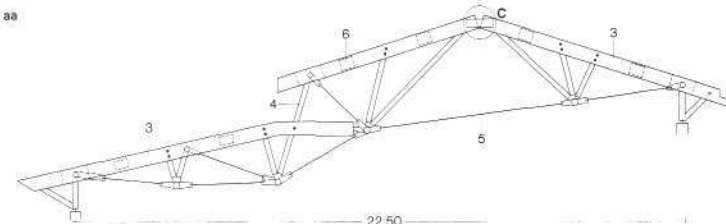
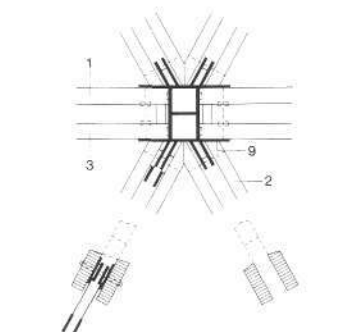
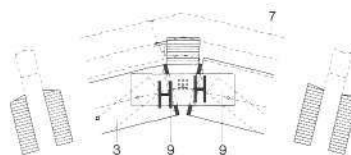
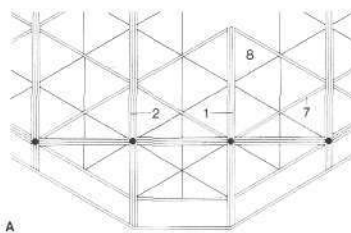
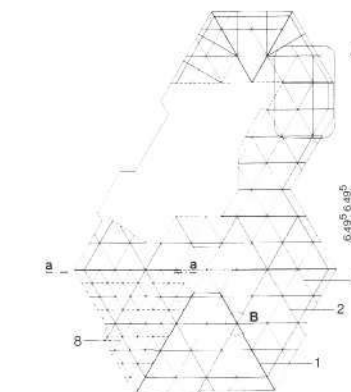
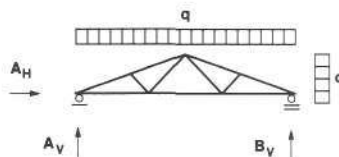
Staffe per travi

con connessione resistente alla trazione e coprigiunti esterni

con appoggio allargato

con coprigiunti interni

con ala a intaglio

40 • Edificio aziendale

WeiBach, Germania; 1984-85

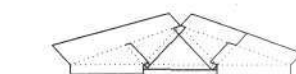
Architetti: Reparto costruzioni delia Porsche AG con Lamm-Weber-Donath, Stoccarda

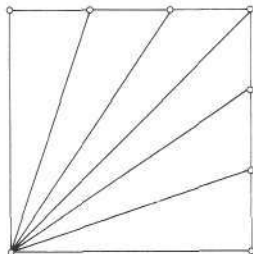
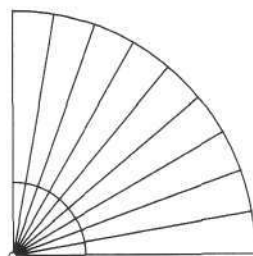
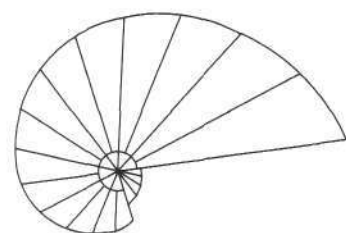
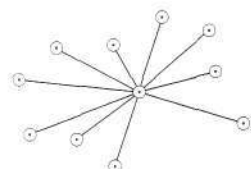
Ingegneri strutturisti: G. Stapff e associati, Stoccarda

Edificio aziendale con bar, ristorante, amministrazione e locali sociali. Tetti scalari a una falda, concezione della pianta come reticolo triangolare. Sistema primario come costruzione a capriata funicolare con trentatré travi reticolari disposte in modo diverso. Distanze tra i montanti tra 15,00 e 22,50 m. Sporgenza fino a 5,00 m. Sistemi multipli staticamente indeterminati. Sistema portante secondario: graticcio di arcarecci reticolari a triangolo con arcarecci principali e secondari. Stabilizzazione dei correnti inferiori tramite un'asta reticolare sporgente al centro della campata. Trasmissione delle forze del vento e di stabilizzazione tramite pilastri di cemento incastrati e pareti ed effetto telaio nel sistema portante. Irrigidimento nel piano del tetto tramite grigliato di arcarecci.

1 Trave principale
2 Trave secondaria
3 Doppio corrente superiore
4 Asta compressa 16/18
5 Tirante ∅ 50, 56, 36 con dado di serraggio
6 Legno di collegamento
7 Trave di colmo principale
8 Trave di colmo secondaria
9 Elementi in acciaio s = 15-30 mm

Travi con doppio rinforzo inferiore

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito
carico orizzontale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti del corrente superiore

Sforzo di taglio del corrente superiore

Sforzo normale

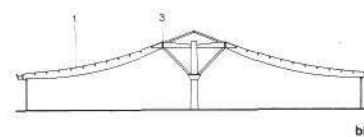
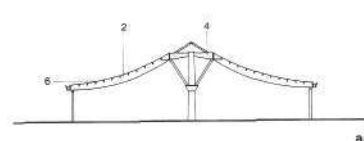
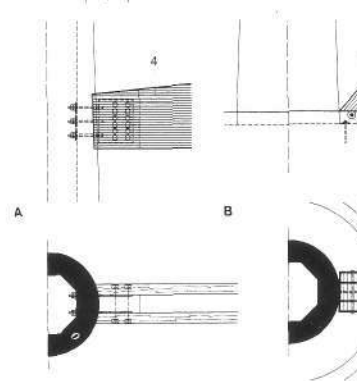
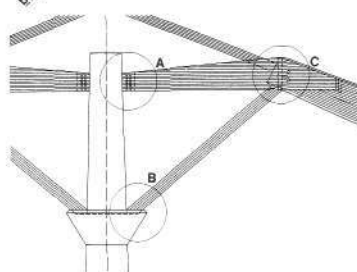
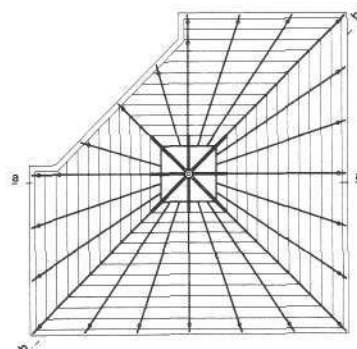
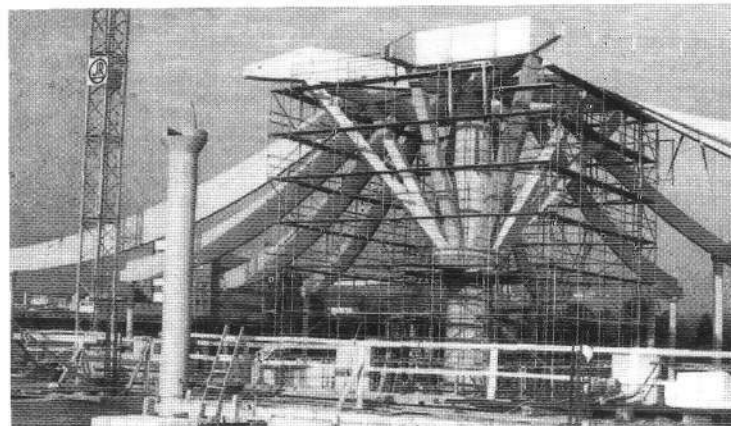
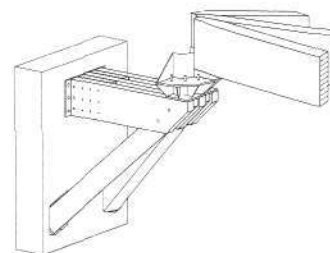
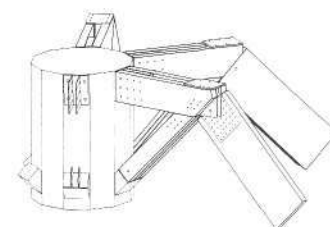
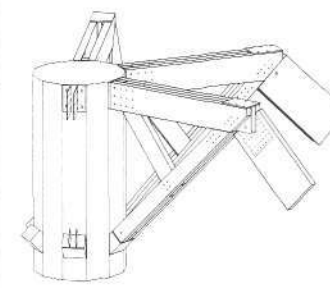
Esempi di geometrie di struttura portante

Pianta quadrata

Quarto di cerchio

Disposizione a chiocciola

Condizioni perimetrali variabili

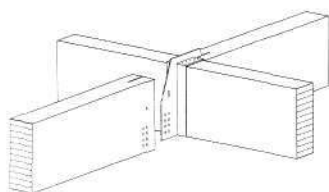
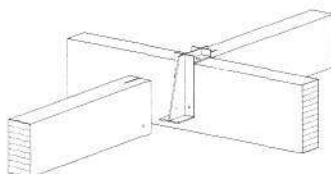
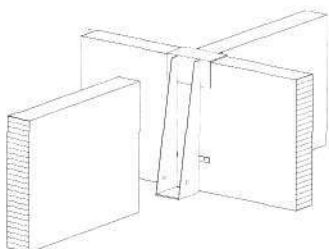
41 • Piscina coperta

Ratisbona, Germania; 1986

Architetti: Fischer, Glaser, Kretschmer, Francoforte sul Meno, e Naumann, Ratisbona

Ingegnere strutturista:
W. Prüfer, Butzbach-Ebersgöns

La costruzione del tetto della piscina coperta si estende da un pilastro centrale di cemento fino ai pilastri perimetrali di cemento, che formano un quadrato con lati iunghi 64 m. Le capriate in lamellare disposte radialmente si incontrano nel montante centrale al quale le otto capriate principali sono coilegate con puntoni sporgenti. Le capriate secondarie sono collegate mediante travi trasversali.
La costruzione a puntoni è composta da aste doppie in lamellare. Il puntone poggia contro la mensola ad anello, il tirante è ancorato alla sommità del pilone tramite piastre di acciaio incavicchiate e perni filettati saldati. Travi di colmo a una campata in lamellare sono disposte a intervalli di 2,5 m parallelamente alla gronda e sostengono il tavolato a vista con una struttura del tetto senza riscaldamento. I carichi orizzontali vengono assorbiti prevalentemente dal pilone centrale.

1 Capriata principale in lamellare 28/140-220
2 Capriata secondaria in lamellare 22/140-200
3 Trave trasversale in lamellare 22/156
4 Tirante in lamellare 2 × 16/90-156
5 Asta compressa in lamellare 2 × 16/50 + + 28/50
6 Trave di colmo in lamellare 16/55

Mensole di appoggio per sistemi radiali

Mensola singola con appoggio centrale in acciaio

Mensole disposte radialmente

Mensole disposte radialmente con irrigidimento da pressoflessione

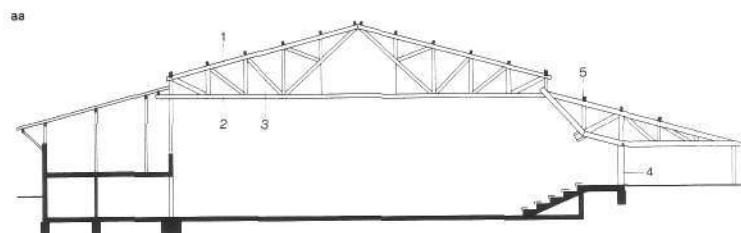
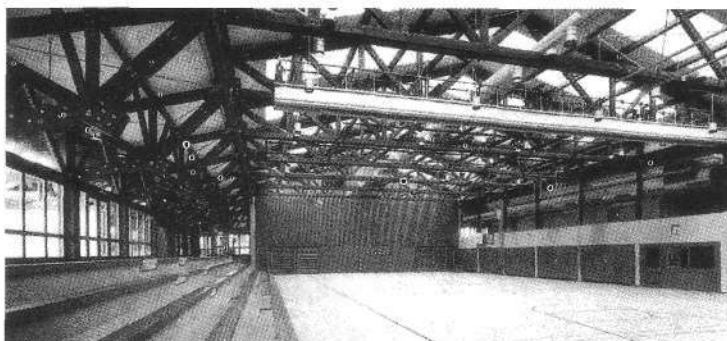
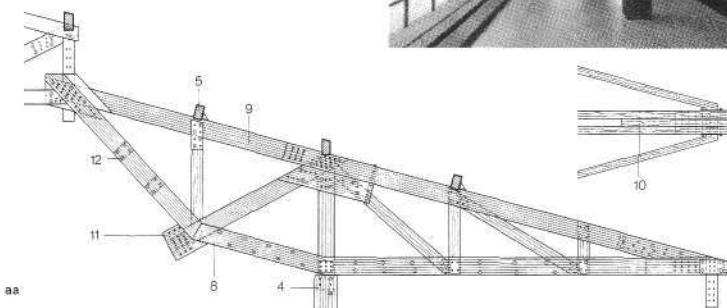
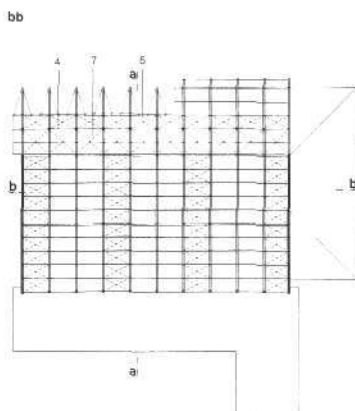
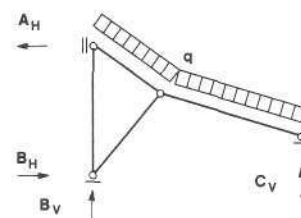
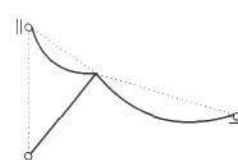
Connessione trave secondaria – trave principale, assorbimento del carico sul bordo superiore della trave

Ala a intaglio, incavicchiata

Ala a intaglio con piastra di base

con staffa a U

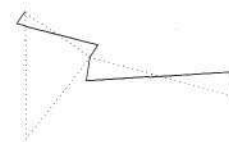
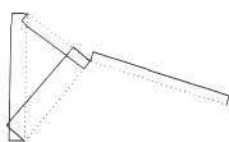
42 • Padiglione polivalente

Schlier, Germania; 1981

Architetti: Jauss, Gaupp e associati, Friedrichshafen

ingegneri strutturisti: A. Brugger e G. Becker, Langenargen

Costruzione reticolare per un padiglione polivalente. Sistema portante principale composto da una trave reticolare con luce di 22,50 m, da una mensola reticolare sporgente di 4,50 m che è fissata con un montante di trazione e da montanti di legno. La stabilità trasversale è ottenuta in parte tramite l'effetto incastro dei montanti di legno, in parte tramite le lastre di parete dei locali attigui. I carichi orizzontali sono assorbiti in direzione longitudinale da travi reticolari e diagonali di acciaio poste tra i montanti principali. Sopra le capriate principali il sistema secondario è formato da travi Gerber e da uno strato di travetti disposti parallelamente alla pendenza del tetto. Controventi a forma di croce di acciaio irrigidiscono il piano del tetto.

1 Corrente superiore 2 × 12/24
2 Corrente inferiore 2 × 12/24
3 Diagonale 20/14
4 Montante in lamellare 20/40
5 Trave di colmo 14/24
6 Elemento di irrigidimento 16/16
7 Diagonale di acciaio
8 Elemento di collegamento in lamellare 2 × 12/30
9 Lamellare 14/30
10 Legno di tamponamento 12/30
11 Spina
12 Bullone di serraggio

Combinazione: mensola con trave a una campata

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale

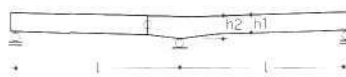
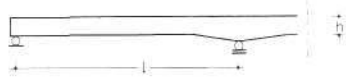
Travi continue e articolate (travi Gerber)

in legno squadrato
a = 0,5-1,5 m
l = 4-8 m

Travi di colmo accoppiate a sezione quadrata

a = 0,5-1,5 m

$h = \frac{l}{16} - \frac{l}{20}$

l = 4-10 m

in lamellare
a = 2-6 m

$h_1 = \frac{l}{24}$

$h_2 = \frac{l}{16}$

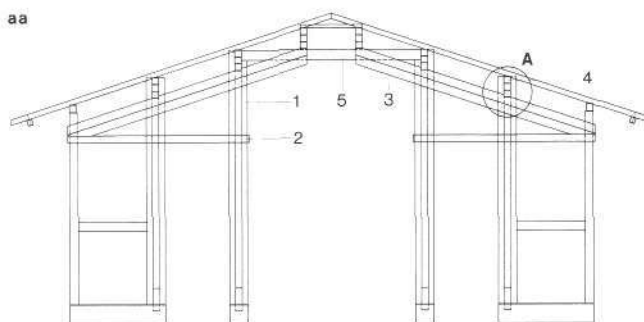
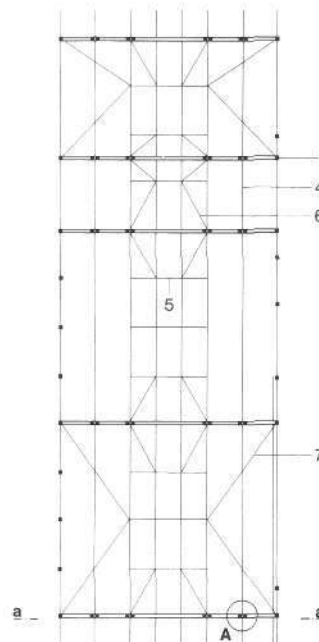
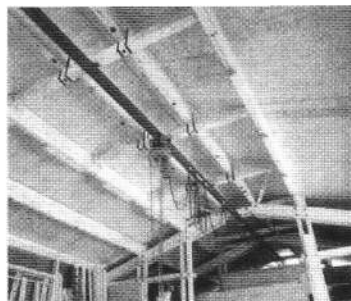
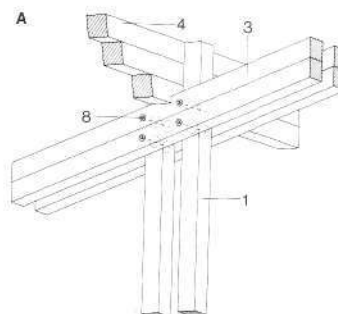
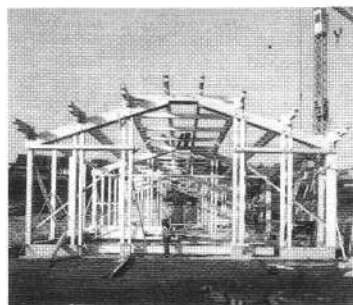
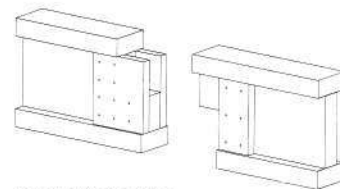
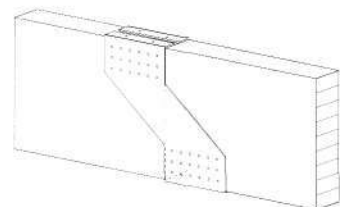
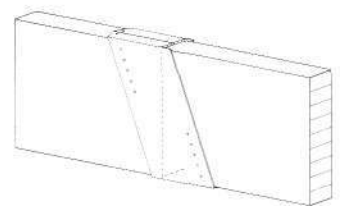
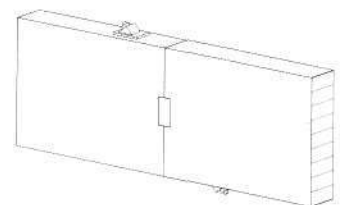
l = 10-30 m
Inclinazione della volta ≤ 1 : 8

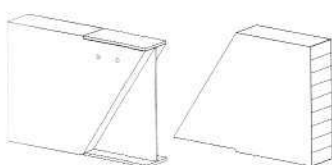
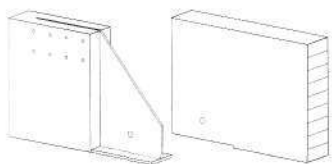
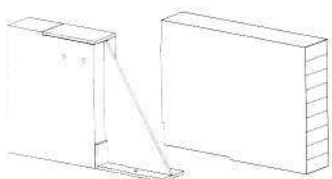
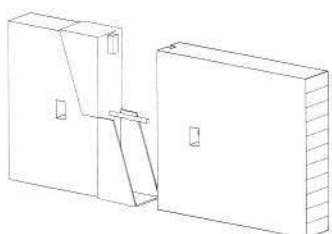
43 • Capannone

Noréaz, Svizzera: 1982

Architetti: Annouk e Jacques Python

ingegneri strutturisti:
Natterer Bois-Consult, Etoy, Svìzzera

Sezioni composte leggermente sopraelevate, incavicchiate, continue in direzione longitudinale, formate da tre travi da 16/16 cm appoggiate in più punti, formano il sistema portante primario dei tetto. L'assorbimento dei carichi dalla trave di colmo avviene per mezzo di una costruzione a tenaglia sporgente, collegata tramite montanti intermedi corti sul piano del tetto e orizzontalmente all'altezza della gronda. Montanti liberi servono da appoggio a forcella per le travi di colmo. Elementi di irrigidimento sono disposti in modo tale da non poter essere danneggiati dai lavori di gru e di carico. La grande pensilina ha profili a sbalzo come riparo dalla pioggia e anche per integrarsi con l'ambiente.

1 Montante a sezione quadrata 14/14
2 Collegamento orizzontale a sezione quadrata 2 × 14/20
3 Collegamento orizzontale a sezione quadrata 2 × 14/20
4 Trave di colmo a sezione quadrata 3 × 14/20 + 20
5 Trave per via di corsa della gru, sezione quadrata 18/24
6 Diagonale sezione quadrata 10/10
7 Barra piatta
8 2 bulldog Ø 95 con vite

Cerniere sottoposte a sforzo di taglio

nelle travi ad anima con giunto a coda di rondine

Staffa di lamiera semplice

Staffa di lamiera doppia

con perni filettati inseriti diagonalmente e appoggio elastomerico

Cerniere sottoposte a sforzo di taglio

con profilo di acciaio a I senza eccentricità

Ala a intaglio con piastra di appoggio

Profilo di acciaio obliquo

Staffa in acciaio con connessione tesa

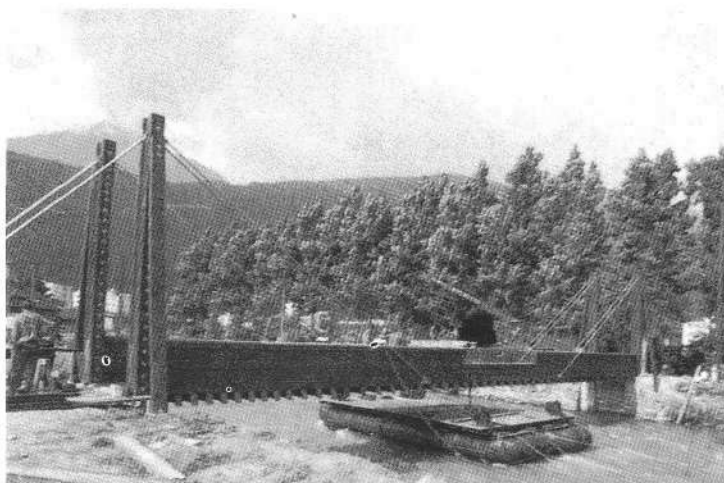
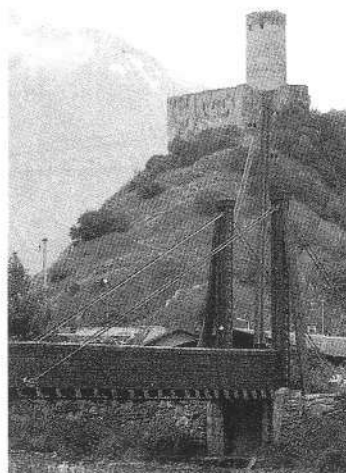
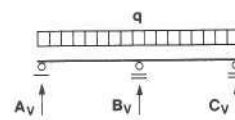
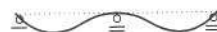
44 • Ponte

Martigny, Svizzera; 1983

Ingegneri strutturisti:
Natterer Bois-Consult, Etoy, Svizzera, e Ufficio tecnico del 10° battaglione del Genio

Ponte pedonale e ciclabile sul fiume Dranse, ammesso per veicoli forestali fino a 5 tonnellate di peso complessivo.

Luce libera di 28 m tra due piloni, travi di estremità liberamente sporgenti con parte centrale sospesa. La trave principale è composta da cinque travetti dì larice collegati con spine. Il ponte viene irrigidito contro il vento soltanto per mezzo dei traversi sospesi inferiormente e dell'impalcato inchiodato sopra ad essi, anch'esso in iarice.
li montaggio è stato effettuato con attrezzi leggeri da parte dell'esercito svizzero.

1 Pilone
2 Trave composta
3 Fune in acciaio al titanio
4 Rivestimento di tavole d = 6 cm

Trave a due campate

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito

Deformazione:

$$\max v = q \cdot \frac{l^4}{186{,}6} \cdot E \cdot J$$

Momenti:

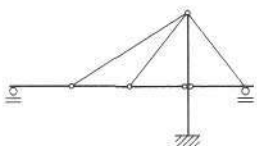
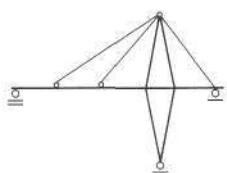
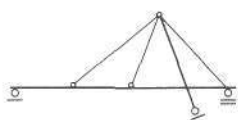
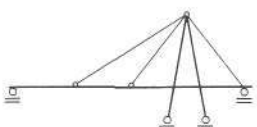
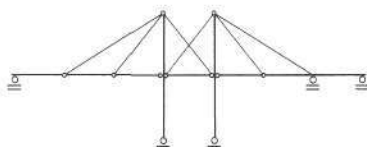
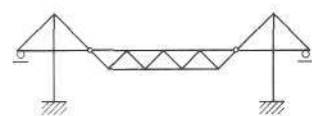
$$\min M = -q \cdot \frac{l^2}{8}$$

$$\max M = q \cdot \frac{l^2}{14{,}22}$$

Sforzo di taglio:

$$\max V = \frac{5}{8} \cdot q \cdot l$$

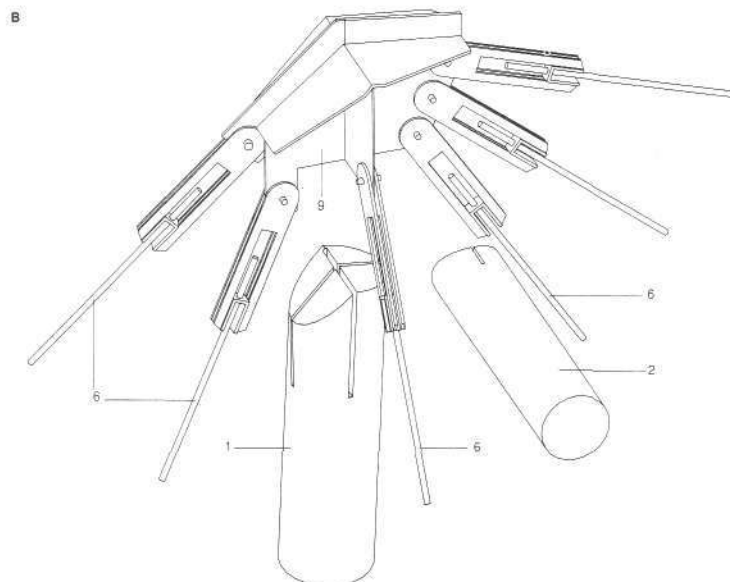
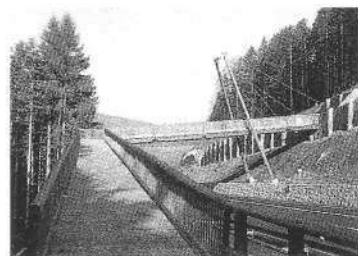
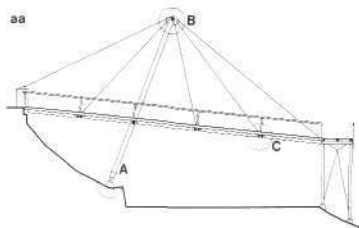
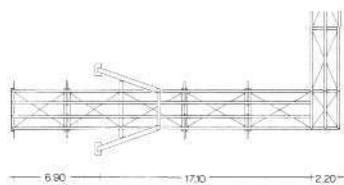
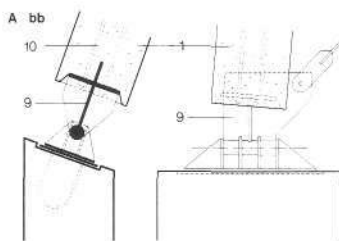
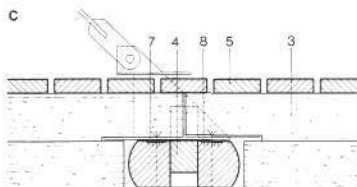
Sforzo normale
N = 0

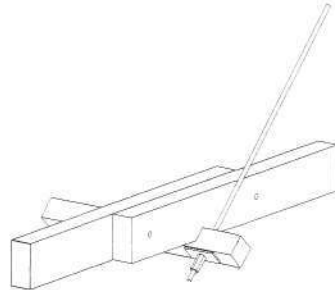
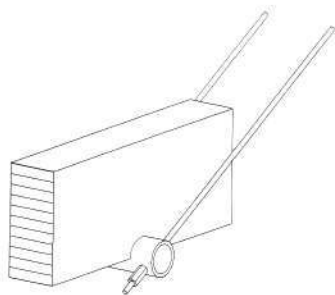
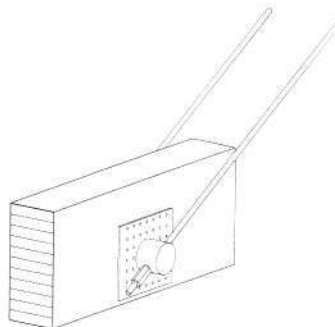
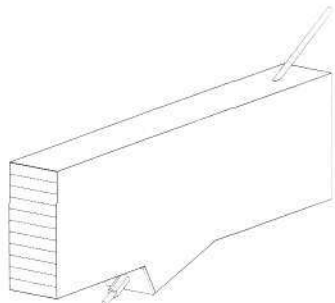
Ponti con fune di sospensione

Ponte con fune di sospensione con strallatura posteriore e appoggio all'estremità

Trave articolata con pilone ad A

Ponte con fune di sospensione e pilone inclinato

Pilone ad A come cavalletto

Ponte con fune di sospensione e strallatura posteriore su appoggi intermedi

Ponte con fune di sospensione con trave sospesa

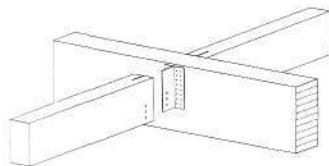
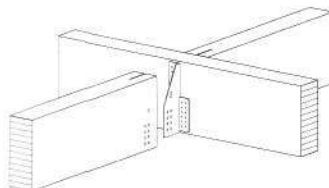
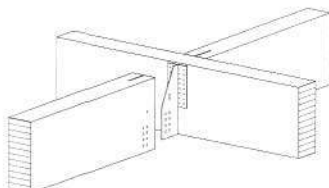
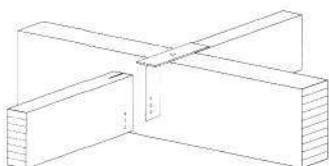
45 Ponte

Vallorbe, Svizzera; 1989

Ingegneri strutturisti:
Natterer Bois-Consult, Etoy, Svizzera, e Ufficio delle autostrade, Waadtland

A causa della forte pendenza il cavalcavia pedonale sopra la strada statale 9 è stato eseguito in due parti: una rampa di accesso lunga 35 m parallela alla strada e il ponte effettivo lungo 24 m. Il sistema portante del ponte è composto da cinque pannelli di impalcato a una campata, ohe sono collegati tramite cavi a un pilone inclinato a forma di H. Stabilizzazione del pilone in direzione trasversale per mezzo di due croci di sant'Andrea, disposte al di sopra e al di sotto dell'impalcato. Una trave reticolare posta orizzontalmente sotto l'Impalcato forma l'irrigidimento della piastra del ponte. Struttura portante in travi circolari di abete impregnate a pressione. Trave longitudinale dell'impalcato composta da due sezioni refilate e incavicchiate. Rivestimento dell'impalcato in tavole di larice. Per il cavo di tensione e per tutti i controventi sono stati utilizzati elementi di acciaio awitabili.

1. Legno tondo ∅ = 36 cm
2. Legno tondo ∅ = 30 cm
3. Legno tondo 2 × ∅ 24 cm
4. Legno squadrato 12/14-28
5. Impalcato 6/20
6. Tirante avvitabile
7. Staffa di acciaio s = 5 mm
8. Connettore a piastra dentata
9. Lamiera intagliata s = 15 mm
10. Perno filettato incollato

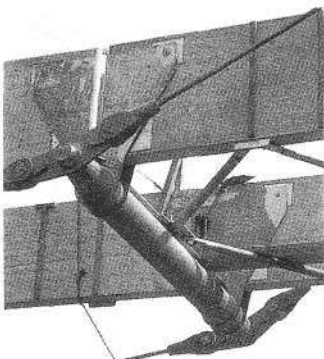
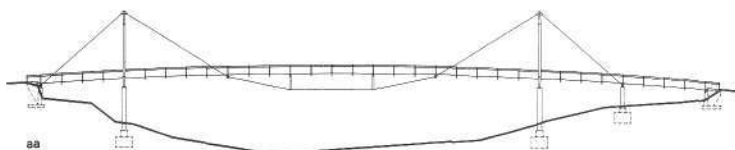
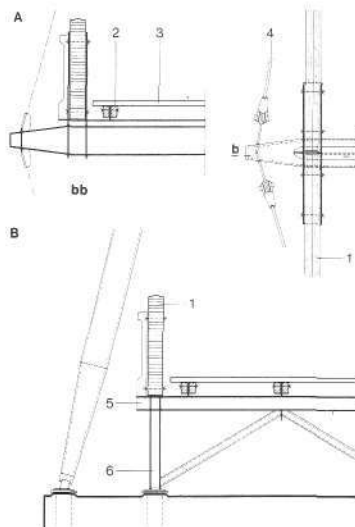
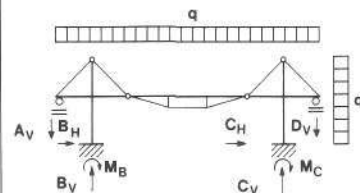
Collegamento della fune di sospensione

al traverso

al traverso in tubo di acciaio

alla trave longitudinale con albero articolato

alla trave longitudinale con mensola

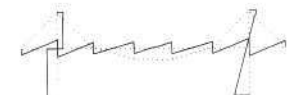
Appoggio trave secondaria – trave principale

Profilo intagliato a T, inchiodato alla trave principale, incavicchiato con la trave secondaria

con pezzo sagomato in lamiera incavicchiato alla trave intagliata

con elemento di acciaio saldato

Lamiera con anima per carico prevalentemente simmetrico

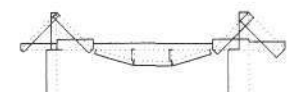
46 • Ponte pedonale

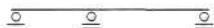
Ismaning, Germania; 1988

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterere Dittrich, Monaco

Ponte pedonale con fune di sospensione rinforzato da tirante inferiore con luce di 60 m sul fiume Isar. Funi a spirale collegate in modo articolato alla sommità del pilone ad A. Esse si allargano In pianta verso l'appoggio, dove sono fissate alle estremità di forma conica dei traversi in acciaio. Questi ultimi servono da punti di appoggio per le travi longitudinali e assorbono le tensioni di rinvio delle funi di sospensione. Rinforzo inferiore tramite tiranti continui che vengono collegati ai montanti sospesi. Diagonali in tubo di acciaio irrigidiscono ì montanti in direzione trasversale. Le travi longitudinali in lamellare poggiano come travi a campate multiple su appoggi intermedi. Nella campata principale all'altezza del traverso sono presenti giunti dì montaggio. Telai trasversali a U irrigidiscono lateralmente le travi principali e supportano l'impalcato, il quale è composto da travi accoppiate e tavole in legno bongossi. Al di sopra di ciò le diagonali in tubo di acciaio formano la struttura di irrigidimento per l'assorbimento dei carichi ad azione orizzontale.

1 Trave in lamellare 20/123
2 Bongossi 2 × 8/20
3 Tavole in bongossi 20/6,5
4 Fune a spirale ∅ 45 mm
5 Profilo in acciaio 160
6 Profilo in acciaio 120

Travi rinforzate da tiranti superiori

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito
carico orizzontale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale

Distribuzione uniforme dei momenti massimi mediante un rapporto favorevole dell'ampiezza delle campate

Luce ridotta delle campate di estremità

Sporgenza delle campate di estremità

Trave a più campate con altezza variabile

in legno squadrato
(travi di colmo accoppiate)

a = 0,5-1,5 m

$h = \frac{l}{16} - \frac{l}{20}$

l = 4-10 m

in legno lamellare

a = 2-6 m

$h = \frac{l}{18} - \frac{l}{22}$

l = 10-30 m

Inclinazione della volta ≥ 1 : 8

come trave reticolare

a = 2-5 m

$h = \frac{l}{16} - \frac{l}{18}$

l = 10-80 m

47 • Ponte pedonale

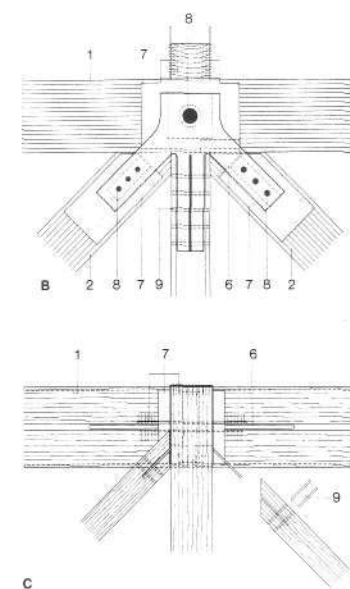
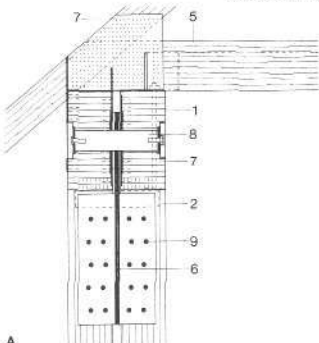
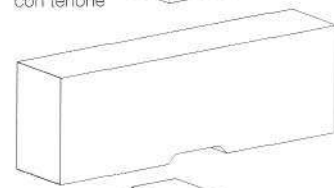
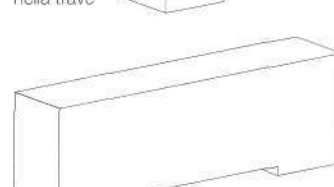
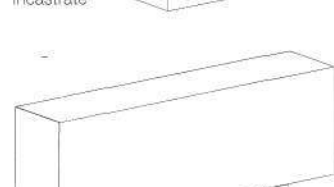
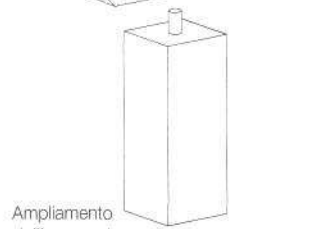
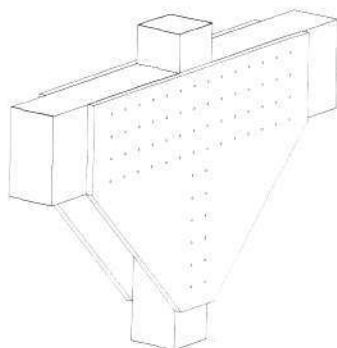
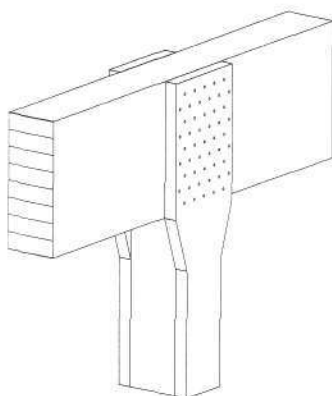
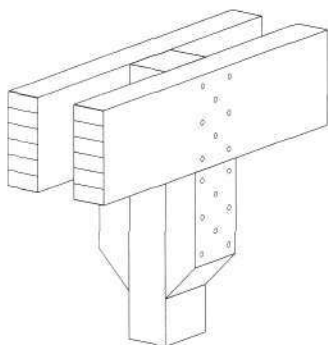
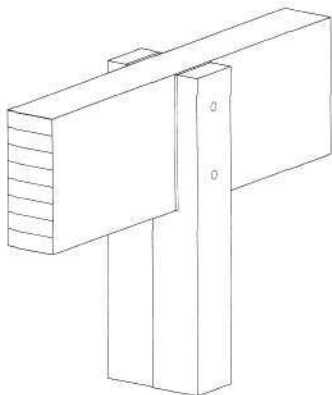
Monaco, Germania; 1978

Architetti: Baureferat, Monaco

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterer e Dittrich, Monaco

La struttura reticolare si estende su una campata centrale di 52 m e due campate marginali di 10 m. Da ciò risultano sforzi di trazione negli appoggi di estremità e un effetto di incastro per la campata centrale.

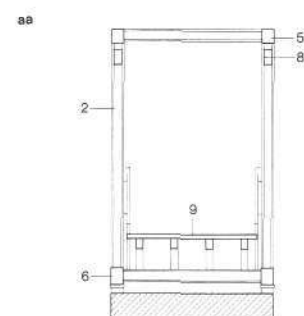
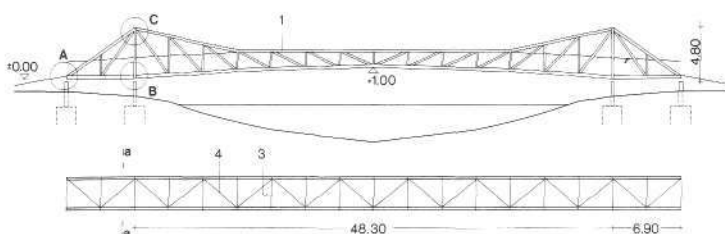
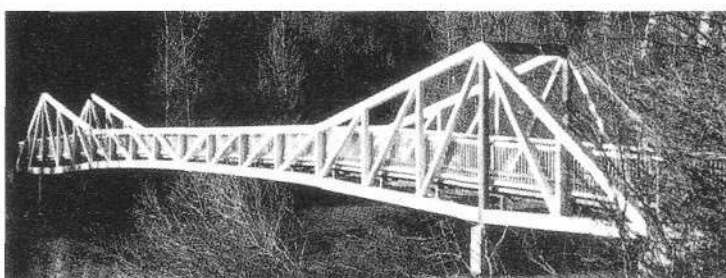
Tutte le aste doppie del reticolo sono in lamellare. Le diagonali di compressione si incrociano con i puntoni tesi collegati tramite coprigiunti. Connessione ai correnti tramite piastre chiodate e perni di cerniera. Traversi tra i correnti inferiori composti da travi doppie in lamellare in ogni punto nodale. Le travi longitudinali continue poste sopra sostengono l'impalcato di tavole dì bongossi spesse 50 mm. L'irrigidimento avviene per mezzo di elementi di legno nel piano dei correnti inferiore e superiore e con l'effetto telaio in sezione trasversale. Travetti in legno squadrato per il tette sporgente con scandole di legno.

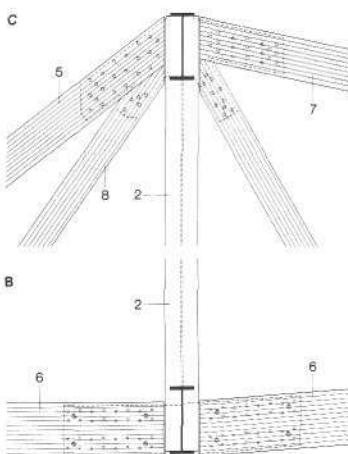
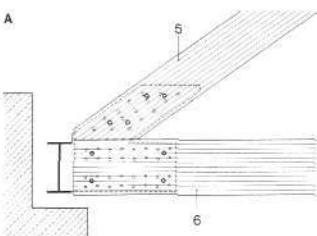
1 Corrente superiore 2 × 22/48
2 Diagonali 2 × 20/36
3 Aste verticali 2 × 26/22
4 Corrente inferiore 2 × 22/51
5 Giunto di montaggio
6 Lamiera d = 20 mm
7 Piastra chiodata
8 Perni
9 Spina
10 Puntoni
11 Appoggio elastomerico

Appoggio trave continua-montante

Connessione rigida per mezzo di travi continue

Giunto con pannello chiodato

Conformazione a forcella della testa del montante

Trave gemella su montante con mensole

Montante doppio, appoggio della trave ritagliato

48 • Ponte ciclabile

Dietfurt/Sigmaringen, Germania: 1987

Ingegnere strutturista: D. Greschik, Lòrrach

Ponte sul Danubio. Sistema primario composto da due travi reticolari correnti con luci di 6,90, 48,30 e 6,90 m. Aumento de! momento di inerzia per mezzo dei montanti e quindi altezza statica relativamente ridotta nella campata principale. La stabilizzazione della costruzione è formata dagli appoggi intermedi di un portale in acciaio HEB 220. Telai a U in profili HEB a intervalli di 3,45 m stabilizzano i correnti superiori e fungono da traversi. Diagonali a tubo, che insieme con i traversi formano una struttura reticolare orizzontale, completane l'irrigidimento orizzontale del ponte. Impalcato composto da arcarecci longitudinali e un tavolato in larice impregnato a pressione posato con giunti. Connessioni nodali con lamiere intagliate e spine. Montaggio senza impalcatura. Per prima cosa sono stati sollevati i due pezzi terminali con un'autogrù e poi il pezzo centrale con correnti paralleli. La protezione del legno necessaria nei punti nodali della struttura è costosa sia nella fabbricazione sia nella manutenzione.

1 Trave continua reticolare
2 Portale con profili in acciaio 220
3 Telaio a U con profili in acciaio 140, 220
4 Diagonali a tubo
5 Lamellare 24/30
6 Lamellare 24/36
7 Lamellare 24/27
8 Lamellare 18/18
9 Impalcato con tavole di larice

A

Travi articolate

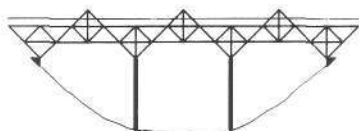
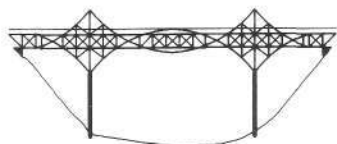
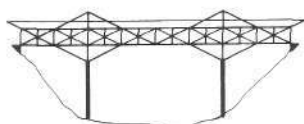
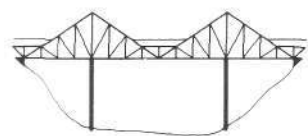
Carico:
carico verticale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale:
N = 0

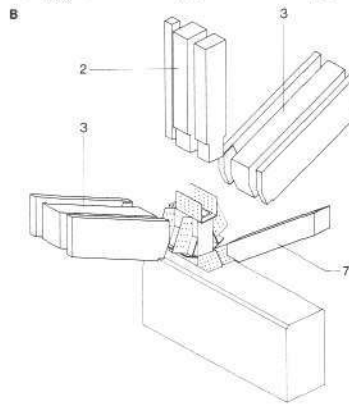
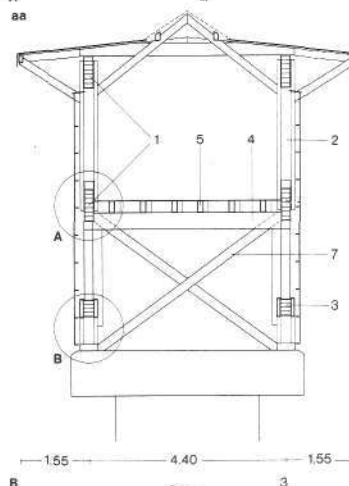
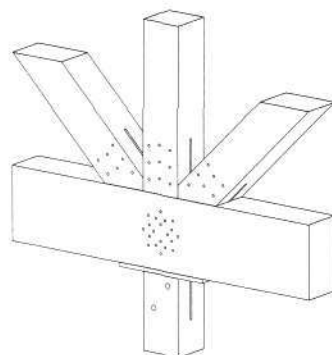
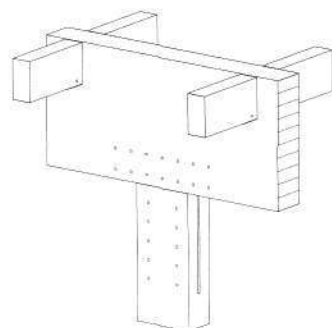
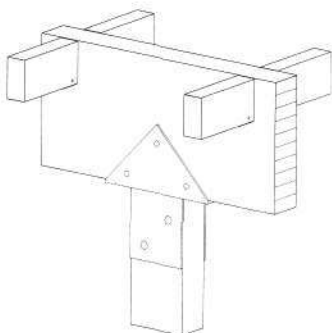
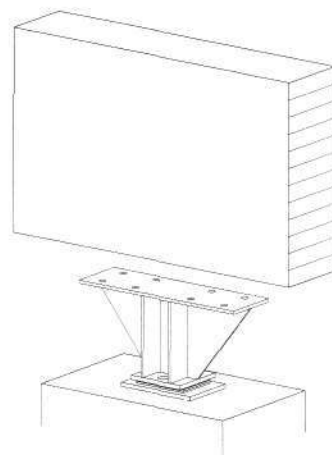
Sistemi reticolari

Per migliorare le caratteristiche di deformazione e oscillazione così come per ridurre il costo dei mezzi di connessione è opportuno adattare la forma della struttura portante all'andamento dei momenti.

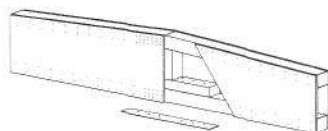
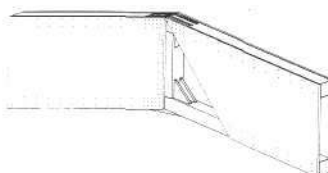
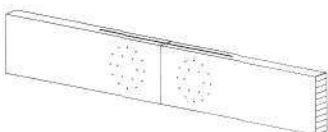
49 • Ponte sul fiume Simme

Wimmis, Svizzera; 1989

Ingegneri strutturisti:
Natterer Bois-Consult, Etoy, Svizzera
Gätti AG, Ùtendorf

Ponte pedonale e ciclabile sulla forra del Simme. Al centro del ponte 24 m sopra il letto del fiume il sistema di travi principaie è composto da due travi reticolari continue con correnti paralleli e due campate di 27. 54 e 27 m. Piano stradale con traversi a distanza di 6,75 m. Travi di colmo accoppiate e un rivestimento di tavole. Controvento orizzontale per la stabilizzazione del ponte formato dai correnti inferiori della trave principale, del traverso e diagonali in tondino d'acciaio incrociate. Corrente superiore e tetto con telaio rigido a distanza di 6,75 m. Piastre chiodate e alberi incernierati come mezzi di connessione. Le forze di compressione vengono convogliate dalle diagonali nel corrente tramite le staffe chiodate. Copertura del tetto in lamiera piana con lucernario centrale in materiale sintetico.

1 Lamellare 20/70
2 Lamellare 20/20 + 2 × legno di conifere 8/20
3 Lamellare 24/36 2 × legno multistrato 7,5/40
4 Lamellare 16/36,6
5 Travi di colmo accoppiate 12/26
6 Tondino di acciaio ∅ = 16-32 mm
7 Lamellare 20/20

Appoggio per travi continue

Lamiera incastrata con piastra di testa, connessione mediante spine

con incastro mediante spine e piastra di acciaio

con staffa di acciaio visibile

Piastra di appoggio per carichi elevati

Giunti di montaggio rigidi per travi rettilinee e incurvate

Trave scatolare con rinforzo e coprigiunti esterni

Trave scatolare piegata con piastre di lamiera intagliate incastrate inchiodate

Anima a intaglio con cerchio di spine

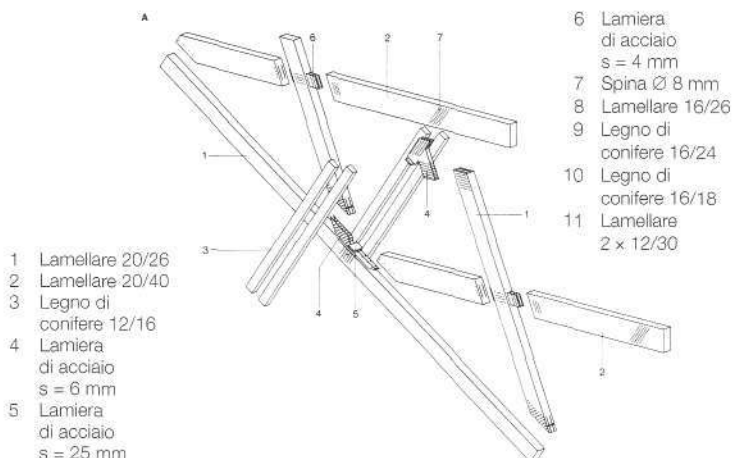
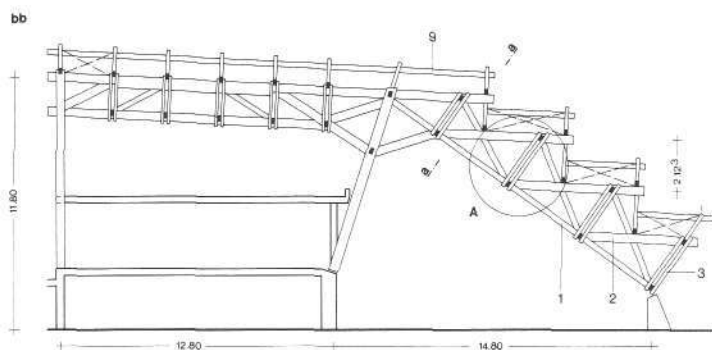
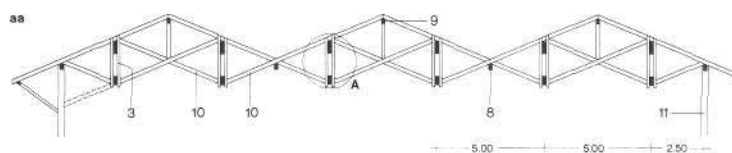
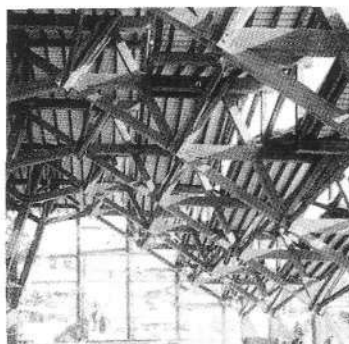
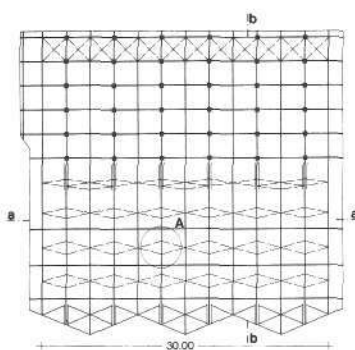
Tassello a serraggio

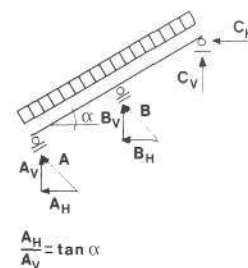
50 • Piscina coperta

Verbier. Svizzera; 1982

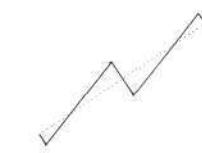
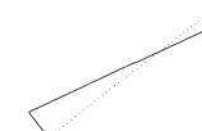
Architetto: A. Zufferey, Sierre, Svizzera

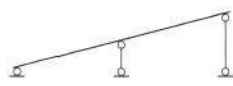
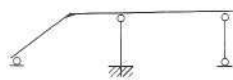
Ingegneri strutturisti:
Natterer Bois-Consult, Etoy, Svizzera

Carichi di neve (8-14 kN/m^2), forme del tetto e princìpi costruttivi corrispondono alla copertura della superficie contigua della pista di pattinaggio sul ghiaccie (vedi esempio 66. pagina 207). Sistema di travi principali composto da telai reticolari a due campate piegate con una luce massima di 14,80 m. Struttura portante complessiva a vista, tutti gli elementi di connessione disposti coperti. Sono state utilizzate in parte piastre chiodate con perni di cerniera e in parte più lamiere intagliate con spine. Le travi secondarie che si estendono per 5 m sono integrate nel settore a scalini con travi reticolari. Collegamento con le travi principali tramite montanti aliargati in quattro parti, che sono nel contempo parte integrante di entrambi gli elementi portanti. Il sistema di travi principali non è scorrevole sul suo piano. Irrigidimento tramite elementi in acciaio nel piano del tette e diagonali in legno nella facciata.

1 Lamellare 20/26
2 Lamellare 20/40
3 Legno di conifere 12/16
4 Lamiera di acciaio s = 6 mm
5 Lamiera di acciaio s = 25 mm
6 Lamiera di acciaio s = 4 mm
7 Spina Ø 8 mm
8 Lamellare 16/26
9 Legno di conifere 16/24
10 Legno di conifere 16/18
11 Lamellare 2 × 12/30

Travi a campate multiple inclinate

Carico: carico verticale uniformemente distribuito

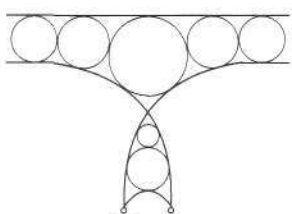
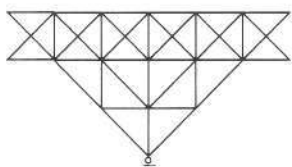
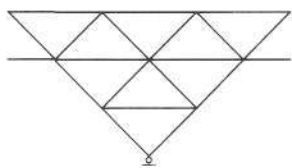
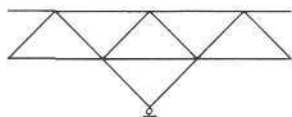
Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale

Sistemi continui

Trave a campate multiple inclinata

Trave inclinata piegata una volta

Trave di tetto a due falde

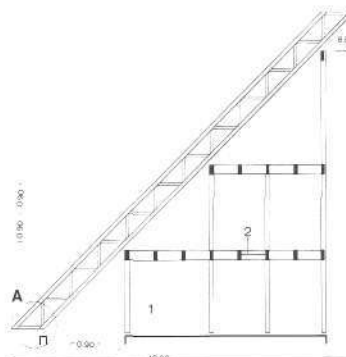
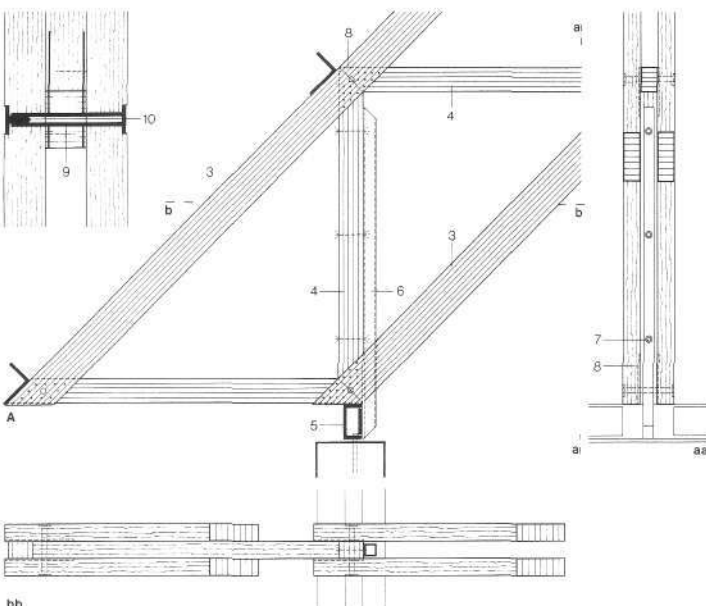
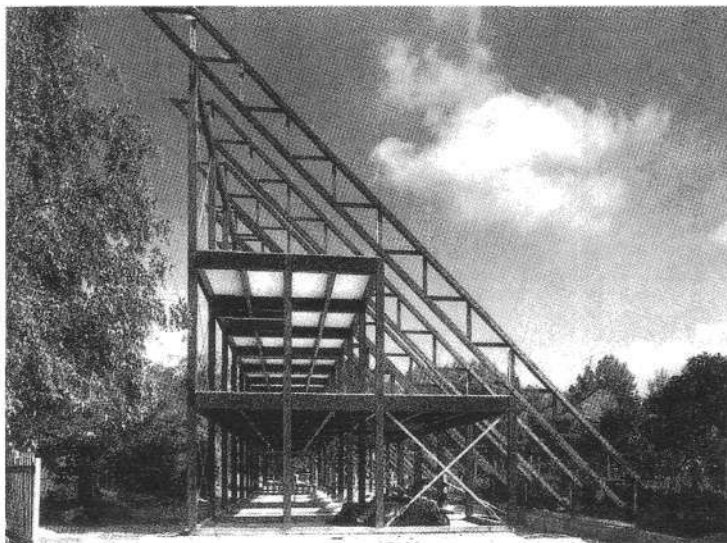
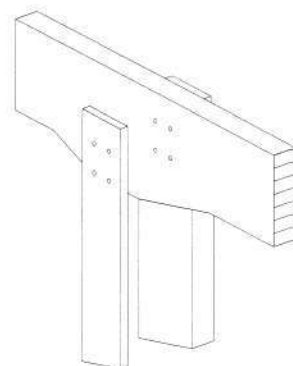
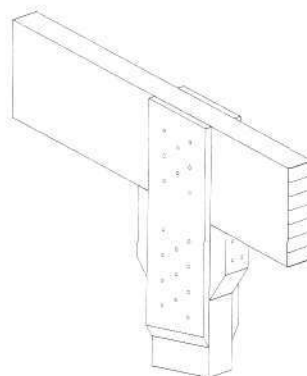
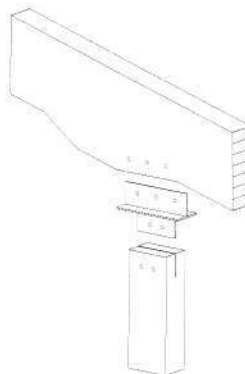
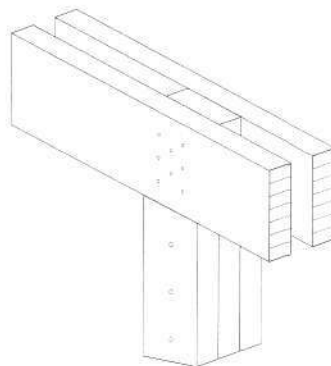
Trave per tetto con conversa interna

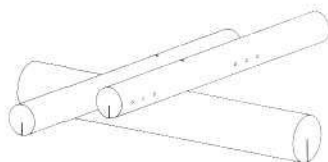
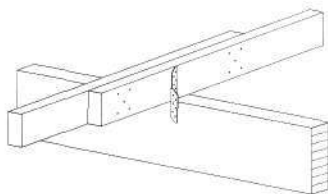
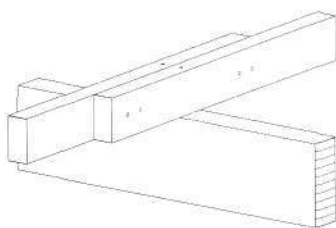
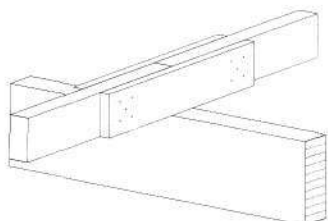
Sistemi reticolari continui

51 • Case a schiera

Monaco, Germania; 1982

Architetti: Th. Herzog, B. Schilling, Monaco

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterer e Dittrich, Monaco

Corona deli'armatura del tetto in profilato laminato di acciaio zincato sul piane cantina in cemento armato come piano di regolazione. Sopra di esso l'orditura in legno con campate di montanti di 3 m in direzione longitudinale; travi del solaio con copertura di pannelli pressati piani da 40 mm, che svolgono anche funzione dì irrigidimento. Convogliamento delle forze orizzontali per mezzo di diagonali nel piano di parete. Connessioni di pari altezza nelle travi principali e secondarie con elementi dì acciaio saldati. Tutte le sezioni trasversali portanti sono in lamellare. La facciata interna dell'edificio si trova sul piano del corrente inferiore della trave reticolare, la facciata esterna, impiegando una variante della tecnica di costruzione delie serre, si trova sul piano del corrente superiore. In questo modo lo spazio vuoto che corrisponde all'altezza della trave reticolare viene utilizzato per la ventilazione.

1 Montanti 15/15
2 Trave 9/30 11/30, 15/30
3 Lamellare 2 × 5/10
4 Lamellare 5/7
5 U 100
6 Tubo 40/40/4
7 Bullone M 12
8 Piastra chiodata
9 Tubo ∅ 16
10 Perno filettato M 10

Appoggio trave continua-montante

Montante in tre parti, trave con raccordo d'irrobustimento

con coprigiunti e appoggio allargato mediante mensola

Trave con raccordo d'irrobustimento, appoggio rinforzato con elemento in acciaio

Trave allargata, montante in tre parti

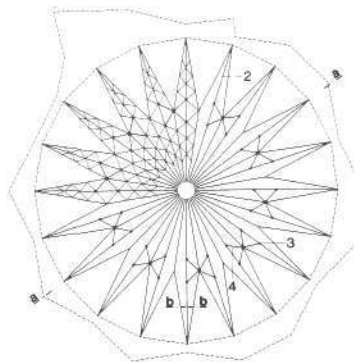
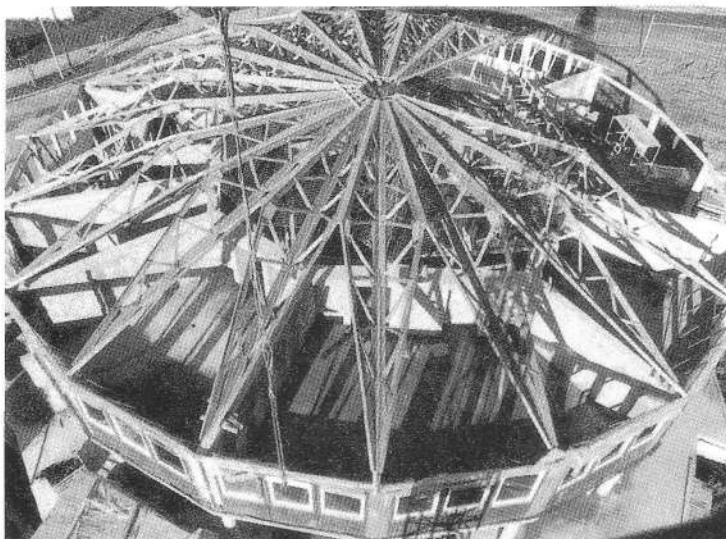
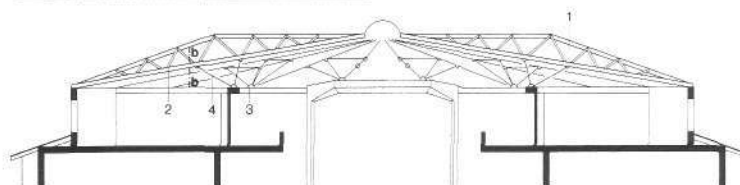
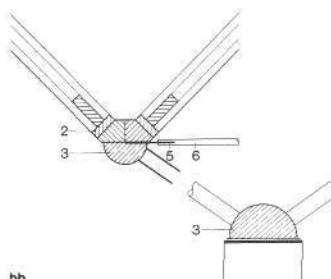
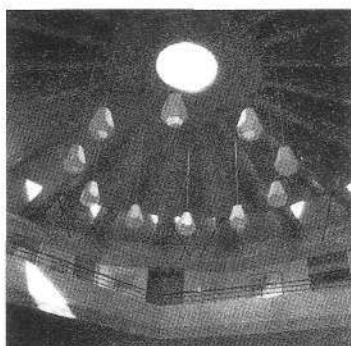
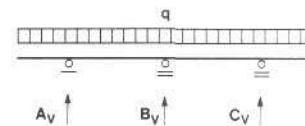
Giunti rigidi di travi a campate multiple sull'appoggio

Travi di colmo accoppiate a sezione circolare con spine

Travi di colmo accoppiate a sezione quadrata con angoli di lamiera chiodata fissati alla trave principale

Travi di colmo accoppiate a sezione quadrata avvitate alla trave principale

Travi di colmo accoppiate a sezione quadrata con coprigiunti chiodati

52 • Scuola Morgenstern

Reutlingen, Germania; 1987

Architetto: R Hùbner, Neckartenzlingen

Ingegnere strutturista:
Roland Riebi, GòBweinstein

Edificio centrale a tre piani di una scuola professionale con un diametro di 30 m, coperto da una struttura reticolare in legno. Gli elementi lignei, recuperati da una ex baracca, sono riuniti in capriate reticoiari prefabbricate. Ogni elemento prefabbricato è formato da due capriate reticolari in legno massello inclinate una contro l'altra. Disposizione a stella, appoggi perimetrali su montanti di facciata, appoggi intermedi con montanti a V in acciaio su anelli di calcestruzzo. Sporgenza nel centro con cupola centrale a lucernario. Struttura del tetto con assito a incastro spesso 19 mm, pannello di compensato di 10 mm e scandole in bitume. Stabilizzazione delle capriate tramite la disposizione a stella e il collegamento delle travi reticolari inclinate, reciprocamente nel settore centrale.

1 Capriata chiodata
2 Corrente inferiore 3/10
3 Semisfera in lamiera d'acciaio d = 2 mm incementata
4 Montante a V in tubo di acciaio ∅ 60 mm
5 Tirante in acciaio 4/50 mm
6 Tondino di acciaio ∅ 24 mm

Travi a due campate con sporgenza

Carico: carico verticale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti: $\min M = -\frac{q \cdot l^2}{12}$

$\max M = \frac{q \cdot l^2}{24}$

Sforzo di taglio: $\max V = q \cdot \frac{l}{2}$

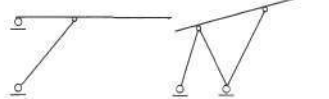
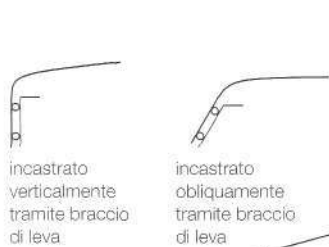
Sforzo normale: $N = 0$

Sistemi

incastrato verticalmente

incastrato orizzontalmente

incastrato verticalmente tramite braccio di leva

incastrato obliquamente tramite braccio di leva

incastrato tramite appoggio

a = 3-8 m

$h = \frac{l}{5} - \frac{l}{10}$

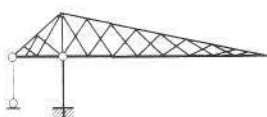
l = 5-30 m

Sistemi reticolari

come trave ad anima o scatolare

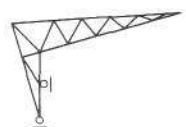
a = 5-10 m

$h = \frac{l}{5} - \frac{l}{10}$

l = 10-30 m

come trave reticolare

a = 6-12 m

$h = \frac{l}{4} - \frac{l}{6}$

l = 10-50 m

Traliccio con nodi di telaio rigidi

a = 3-6 m

$h = \frac{l}{5} - \frac{l}{10}$

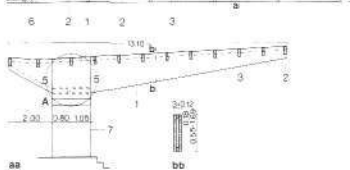
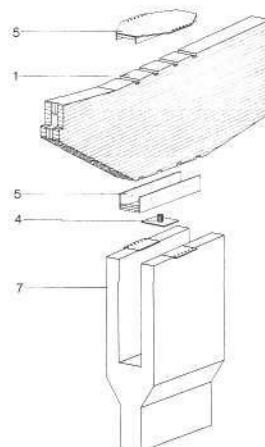
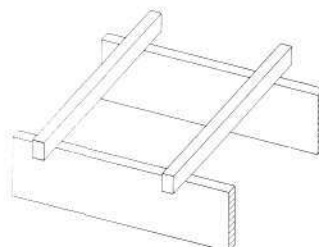
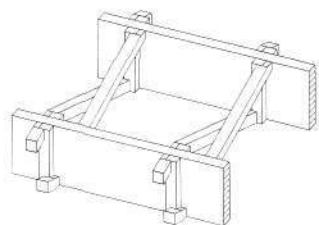
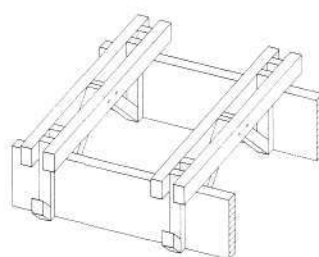
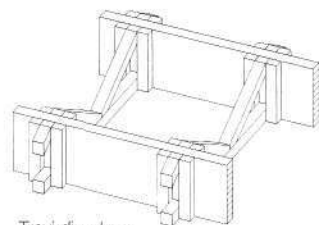
l = 5-20 m

53 • Tetto di tribuna

Dillingen, Germania; 1977

Architetti: H. Gellenberg, R Gergen, R Penker, Dillingen

Ingegnere strutturista: W. Prùfer, Butzbach-Ebersgòns

Sistema portante principale composto da montanti a forcella in cemento armato incastrati a distanza di 10,0 m e travi a sbalzo in lamellare. Le travi di colmo sono travi a una campata sospese tra le capriate principali. Un tavolato diagonale fornisce l'irrigidimento necessario. Le travi a sbalzo hanno sezione scatolare. Due elementi di acciaio con tasselli rettangolari saldati trasmettono ai pilastri di calcestruzzo il momento come coppia di forze. Le travi principali sono protette dalla pressoflessione dalla forma a forcella dei montanti.

1 Capriata 36/55-170
2 Trave perimetrale 12/37, 8/32
3 Trave di colmo 12/35
4 Caviglia di acciaio ∅ 90 mm
5 Staffa di acciaio
6 Tavolato diagonale come controvento
7 Montante di cemento armato

Sistemi portanti secondari di irrigidimento

Le travi secondarie semplici su travi principali richiedono un irrigidimento da pressoflessione supplementare

Travi secondarie incrociate per irrigidimento da pressoflessione

Travi di colmo accoppiate per irrigidimento da pressoflessione

Travi di colmo accoppiate con funzione di irrigidimento da pressoflessione e compluvio

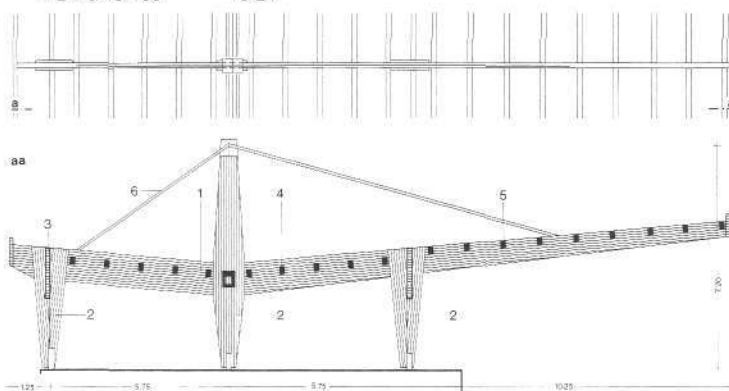
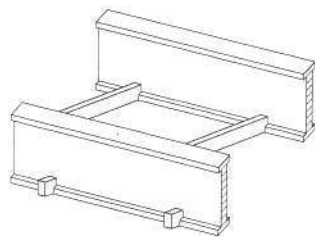
53a • Tribuna

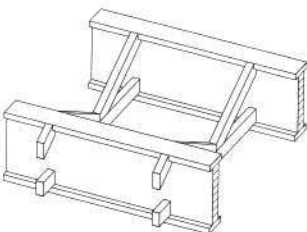
Straubing, Germania; 1984

Architetti: H. Gellenberg, R Gergen, R Penker, Dillingen

Ingegneri strutturisti: Società di progettazione Natterer e Dittrich, Monaco

Telai a due campate con sporgenza rinforzati da tensori coprono un centro sportivo con tribuna per gli spettatori, I telai sono formati da montanti in lamellare, i quali sono collegati rigidamente per mezzo di cerchi di spine al rompitratta continuo in lamellare. La sporgenza larga 10,25 m viene supportata al centro da un tirante in barra di acciaio, il quale è collegato alla sommità del montante centrale, che come pilone sporge dalla superficie del tetto, tramite un appoggio scorrevole a rulli e ancorato al montante posteriore in modo resistente a trazione, I montanti anteriori sono assicurati dal sollevamento per mezzo di traverse di acciaio e di dispositivi di arresto superiori in modo da assorbire le forze dei vortici di vento, che agiscono sul tetto sporgente. Le travi longitudinali in lamellare nel piano della facciata sono collegate ai montanti in modo rigido, cosicché la stabilizzazione longitudinale è garantita dall'effetto telaio. Un assito sopra gli arcarecci irrigidisce il piano del tetto.

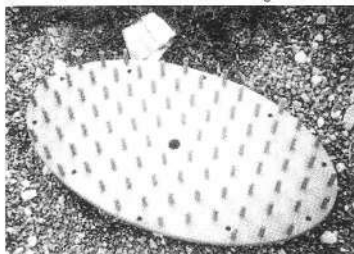
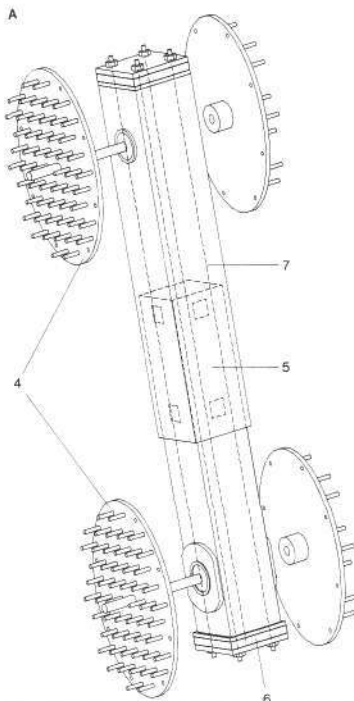
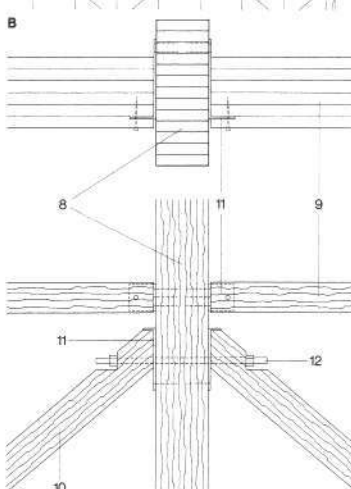
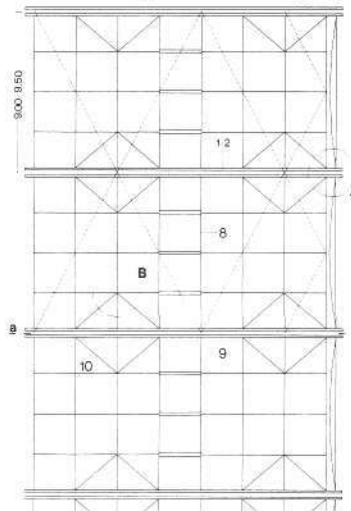
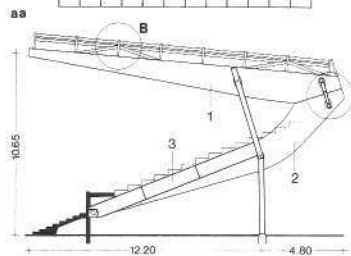
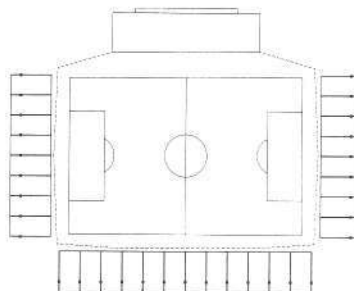
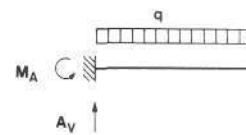
1 Lamellare 16/50-80
2 Lamellare 16/40-100 + 2 × 8/40-100
3 Lamellare 16/160
4 Trave di colmo in lamellare 16/24
5 Trave di colmo in legno di conifere 16/24
6 Tirante di acciaio

Sistemi secondari di irrigidimento

Trave secondaria diagonale tra travi a I

Trave secondaria con irrigidimento da pressoflessione

Travi di colmo accoppiate tra travi principali a I

54 • Stadio di Tourbillon

Sion, Svizzera; 1988

Architetti e ingegneri strutturisti: GBES: H. Stòvhase e A. Bonvin, Sion; A. Melly, Sierre; Svizzera

Stadio con 17.000 posti di cui 6000 a sedere. Strutture portanti indipendenti per tetto e tribuna. Le capriate del tetto ogni due travi in lamellare nel piano del tetto e della tribuna, collegate tramite aste di compressione in acciaio e "ammortizzatori" con piastre incavicchiate in ghisa alle parti in legno riducono i carichi dinamici dei vortici di vento. Capriate composte da travi a sbalzo per 12,20 m. Momenti dalle travi a sbalzo del tetto assorbiti per mezzo di braccio di leva di 4,80 m. Capriata della tribuna in acciaio con metà interasse della capriata del tetto. Struttura secondaria del tetto in travi di colmo ad arco con cavi tensori collegati a capriate. Irrigidimento mediante croce di sant'Andrea.

1 2 × 14/50-14/180
2 2 × 14/65-14/195
3 Travi di acciaio
4 Piastre con spinotti in ghisa
5 Tubo a sezione quadrata
6 Neoprene
7 Asta tesa ∅ 12 mm
8 Trave di colmo 12/33
9 Trave secondaria 7/16 cm
10 Diagonali 8/16
11 Angolare d'acciaio
12 Bullone M 14

Travi a sbalzo

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito

Deformazione:
$v = q \cdot \frac{l^4}{8} \cdot E \cdot J$

Momenti:
$\min M = -q \cdot \frac{l^2}{2}$

Sforzo di taglio:
$\max V = q \cdot l$

Sforzo normale:
$N = 0$

Tiranti a tre cerniere
senza tensore, sezione piena

a = 5-8 m

$h = \frac{l}{30} - \frac{l}{50}$

l = 15-50 m

$f \geq \frac{l}{3}$

con travi rinforzate da tiranti inferiori

con tensore, sezione piena

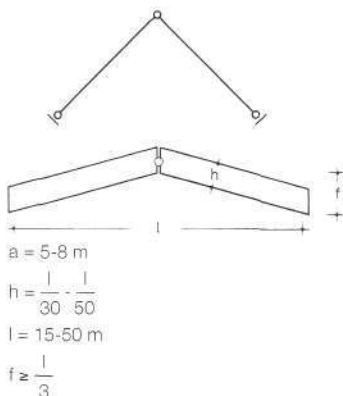
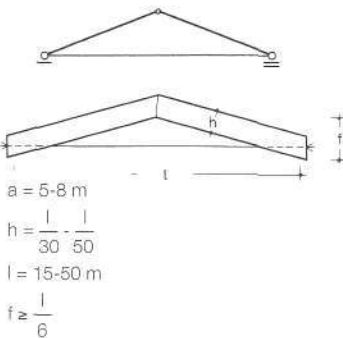
a = 5-8 m

$h = \frac{l}{30} - \frac{l}{50}$

l = 15-50 m

$f \geq \frac{l}{6}$

Tensore ripiegato verso il basso

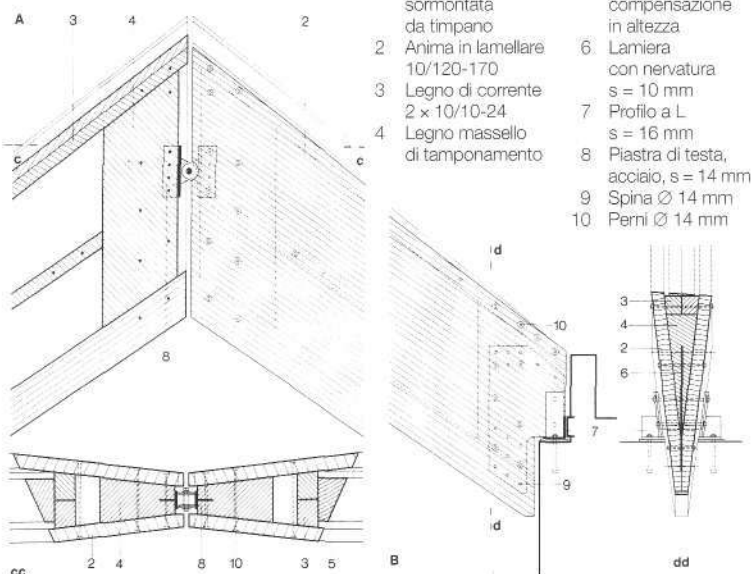
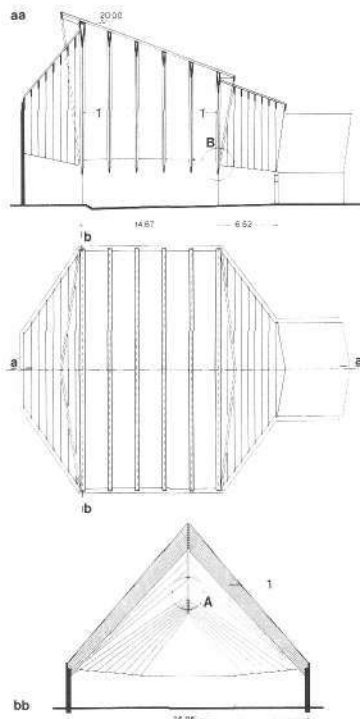
Tensore incrociato

55 • Chiesa

Merzhausen, Germania; 1978

Architetto: H. Steinmann, Merzhausen

Ingegnere strutturista:
E. Milbrandt, Stoccarda

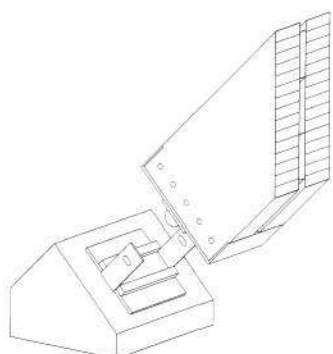
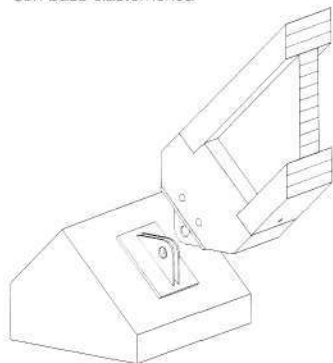
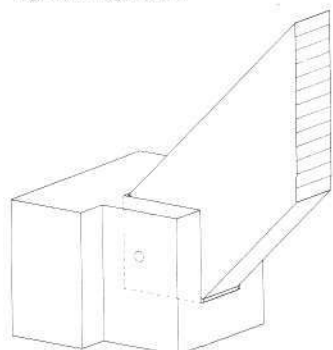
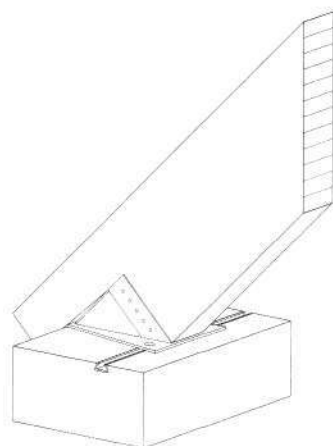
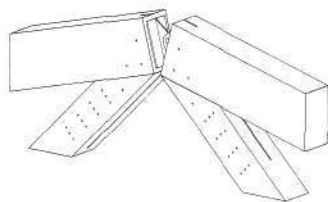
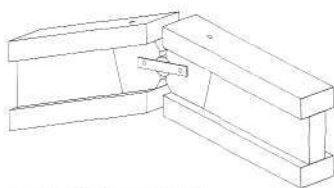
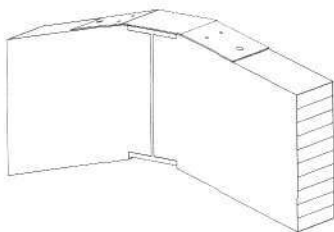
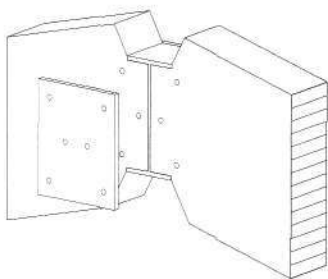
Quattro tetti reciprocamente indipendenti coprono ia costruzione dì ampliamento di una chiesa. La struttura portante principale è composta da capriata a tre cerniere con larghezza montanti costante dì 29,95 m e altezza del colmo variabile. Il tetto principale è una superficie doppiamente ricurva. La capriata è composta da travi scatolari cave a triangolo con anima in lamellare e corrente superiore di legno. Tavole ritorte da 6/18 cm sostengono un assito diagonale da 20 mm. Sopra l'altare la luce e l'altezza di capriate variano in modo tale da creare superfici del tetto piane. Le capriate composte da sezioni quadrate di lamellare sostengono un assito incrociato composto da tavole larghe 18 e 24 mm. Stessa struttura sopra la cantoria, con superficie doppiamente ricurva. Capriata del tetto a due falde sopra l'ingresso composta da travi ad anima ondulata. Stabilizzazione mediante effetto lastra dell'assito.

1 Capriata sormontata da timpano
2 Anima in lamellare 10/120-170
3 Legno di corrente 2 × 10/10-24
4 Legno massello di tamponamento
5 Tavole come compensazione in altezza
6 Lamiera con nervatura s = 10 mm
7 Profilo a L s = 16 mm
8 Piastra di testa, acciaio, s = 14 mm
9 Spina ∅ 14 mm
10 Perni ∅ 14 mm

Appoggi per sistemi incernierati

con staffa di acciaio
e guida di regolazione

in nicchia di cemento
con base elastomerica

con piattabanda e perno di cerniera

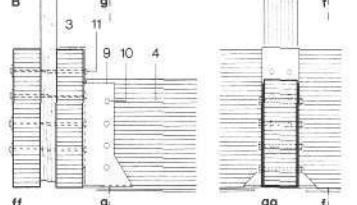
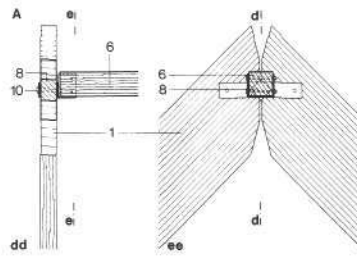
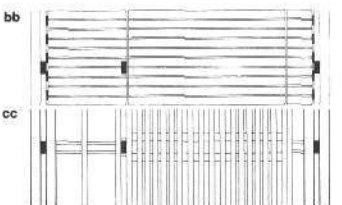
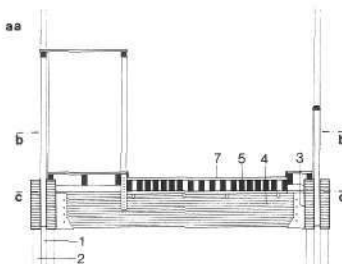
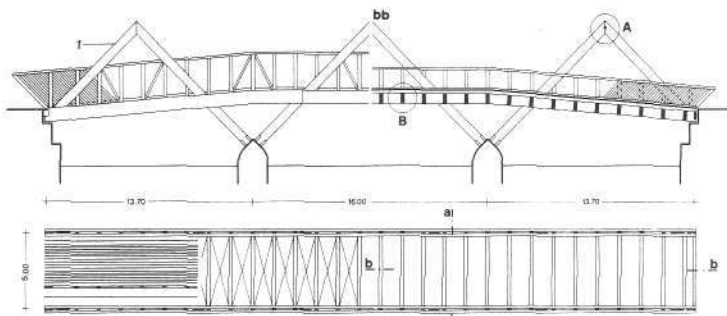
Appoggio eccentrico con coprigiunti laterali in acciaio

Cerniere di colmo

con elemento in acciaio incastrato e perni di cerniera

con inserto in legno duro e coprigiunti laterali

con profilo a I incastrato e fissaggio contro la trazione superiore

con profilo a I incastrato e fissaggio laterale

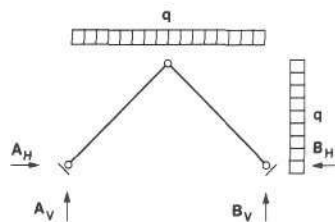
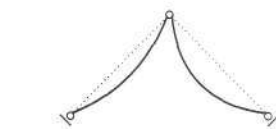
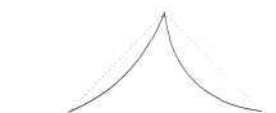
56 • Ponte

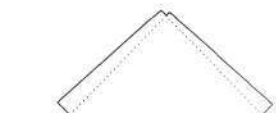
Ugnano, Udine; 1980

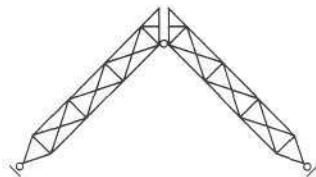
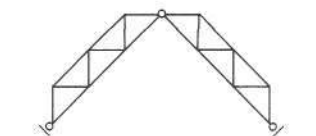
Architetti: Studio Nizzoli, Milano

Ingegnere strutturista: H. Pailaver, Trento

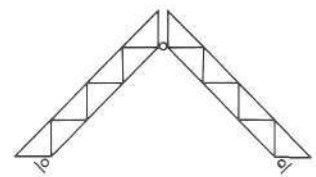
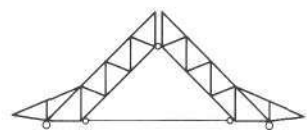
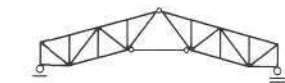
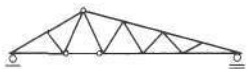
Ponte stradale a una corsia per traffico di autovetture e pedoni sopra tre campate con luce di 13,70, 16,00 e 13,70 m, I puntoni di legno a V sostengono le due travi principali in quattro punti intermedi. Essi sono conformati nella parte inferiore come montanti in lamellare in tre parti. La trave centrale prosegue fino al colmo e forma una struttura a tre cerniere.
Le travi principali composte da travi doppie in lamellare proseguono fino alle campate di estremità, sono però collegate a cerniera nella campata centrale per motivi di montaggio. Travi trasversali in lamellare sostengono a distanza di 1,5 m gli arcarecci in legno massello 10/20 cm. Sopra di essi tavole da 5/15 cm formano il rivestimento del piano stradale.
Per l'assorbimento delle forze orizzontali è presente una struttura di irrigidimento composta da diagonali di acciaio posta sotto il piano stradale. Impalcato costeggiato da reticolo di tavole e con tettoia per protezione dal sole.

1 Puntone in lamellare 10,5/60
2 Montante in lamellare 2 × 14,5/60
3 Capriata in lamellare 2 × 18/90
4 Traverse in lamellare 22/68
5 Arcarecci 10/20
6 Rompitratta 16/16
7 Tavolato
8 Cerniera in legno di quercia
9 Staffa di acciaio s = 10 mm
10 Perno filettato M 20
11 Perno filettato M 12

Sistemi a tre cerniere con aggetto

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito
carico orizzontale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale

Sistemi a tre cerniere
Costruzione reticolare

a = 5-8 m

$h = \frac{l}{15} - \frac{l}{25}$

l = 15-50 m

sistema a tre cerniere senza tirante

con fessura nel tetto

Disposizione simmetrica
con gronda rialzata

Disposizione asimmetrica

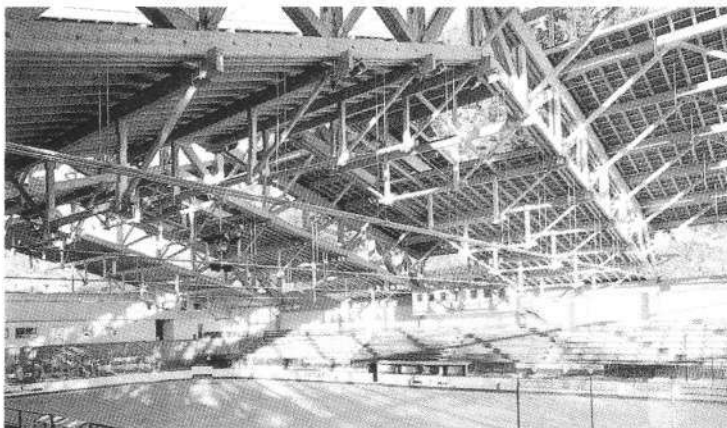
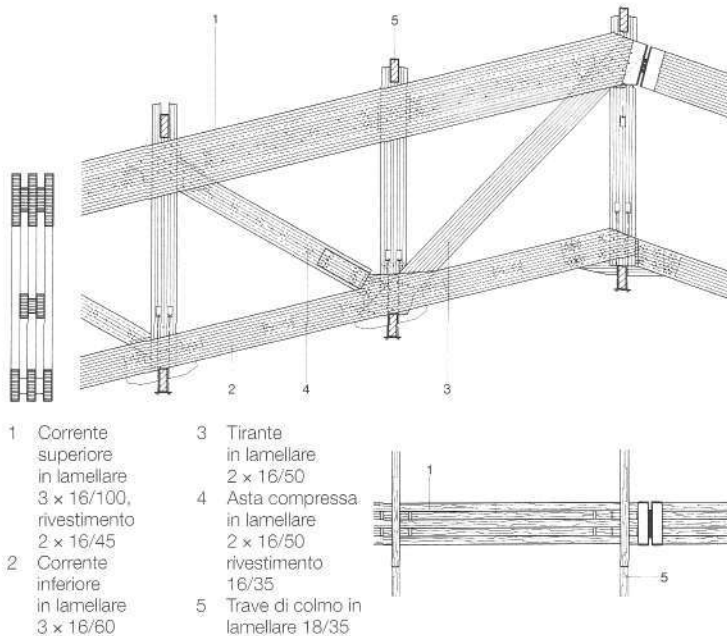
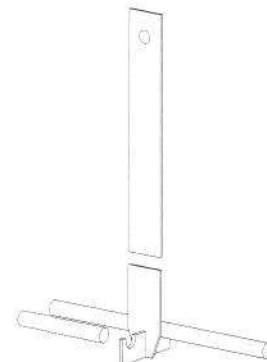
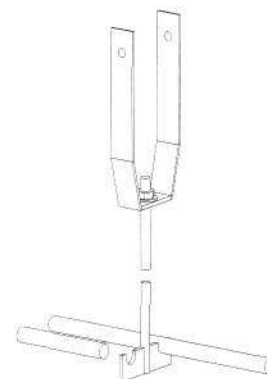
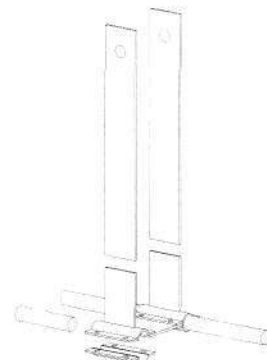
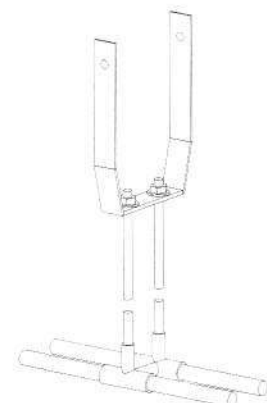
57 • Palazzetto del ghiaccio

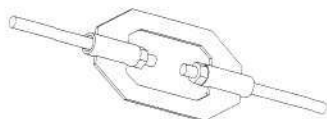
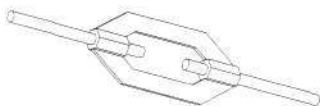
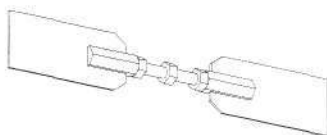
Ortisei, Bolzano; 1980

Architetti: I. Zimprich, Garmisch; F. Trafojer, Bolzano

Ingegneri strutturisti: K. Malknecht
H, Meinhardt, Vòcklamarkt, Austria

Travi reticolari a tre cerniere con tirante si estendono in direzione trasversale sulla superficie in pianta di dimensioni 50,5 x 81 m. Esse poggiano ogni 12 m in parte su montanti oscillanti, in parte su appoggi fissi. Connessione dei correnti inferiori in tre parti alle diagonali tramite collegamenti a spina a taglio multiplo, incastri o giunti a coda di rondine. Alcune aste alle loro estremità sono rinforzate tramite incollaggio per alloggiare le connessioni. Arcarecci disposti in modo sfalsato rispetto all'altezza di una trave da una campata all'altra. Terzere sostenute tra i correnti superiori da puntoni al centro della campata e irrigiditi sul piano del tetto tramite controventi, per stabilizzare le travi principali. La superficie del tetto più in basso è sostenuta da travi secondarie rinforzate da tirante inferiore. Durante il montaggio le capriate principali sono state trasportate a coppie su rotaie dal lato frontale.

1 Corrente superiore in lamellare 3 × 16/100, rivestimento 2 × 16/45
2 Corrente inferiore in lamellare 3 × 16/60
3 Tirante in lamellare 2 × 16/50
4 Asta compressa in lamellare 2 × 16/50 rivestimento 16/35
5 Trave di colmo in lamellare 18/35

intagliato nella trave

fissato esternamente, regolabile in altezza

fissato esternamente

regolabile in altezza

Giunti di tiranti a trazione regolabile

Anello di serraggio con dado

Tenditore a vite con filetto in senso contrario

Perno filettato con controfiletto, dado e controdado

con manicotto di serraggio e controdado

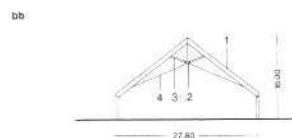
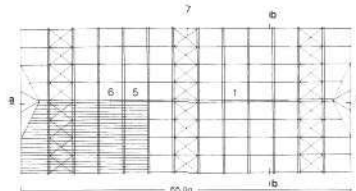
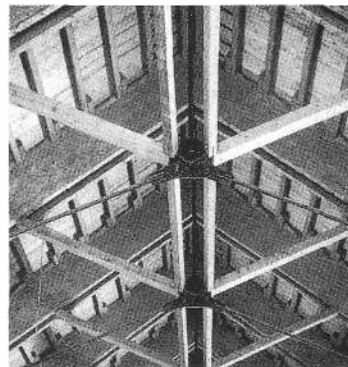
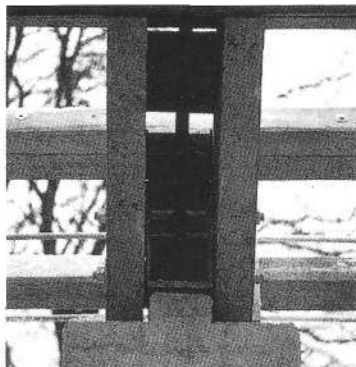
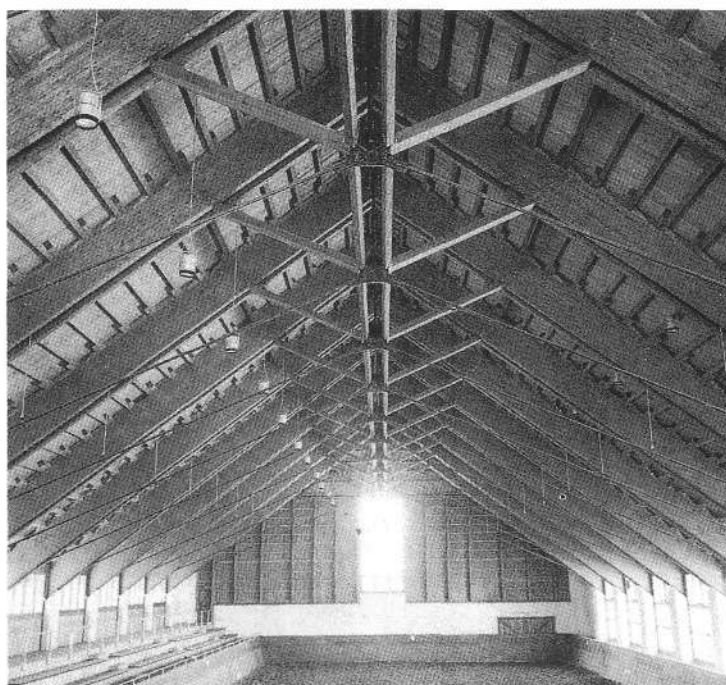
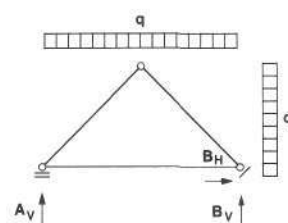
con controfiletto regolabile

58 • Maneggio coperto

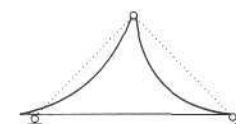
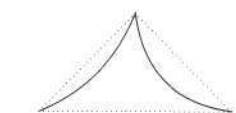
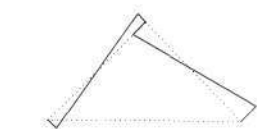
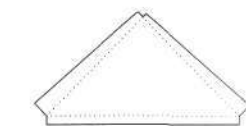
Schwaiganger, Germania; 1979

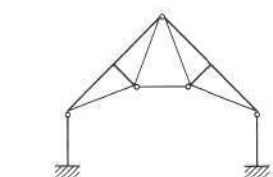
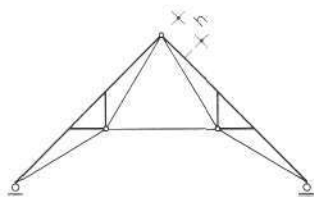
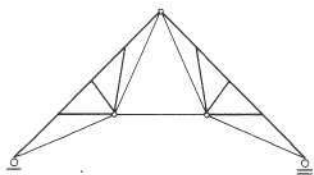
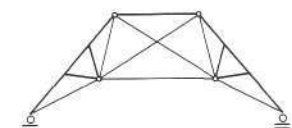
Architetti: fvl. Eberl, H. Weippert Monaco

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterer e Dittrich. Monaco

Su un maneggio coperto le strutture a tre cerniere con luce di 27,5 m sostengono la costruzione del tetto, i correnti superiori costituiti da travi in lamellare sono rinforzati inferiormente da tiranti in tondo d'acciaio, che vanno a incontrarsi con i puntoni in una cerniera di acciaio e proseguono quindi in un'asta di acciaio comune fino alla cerniera del colmo. Doppi puntoni di legno collegano i nodi in direzione longitudinale.
Le capriate poggiano ogni 5 m contro i montanti di cemento armato incastrati. Tra di essi travi di colmo accoppiate in legno massello sostengono il tavolato del tetto. Nelle tre campate sono disposti elementi di irrigidimento longitudinale, mentre la stabilizzazione in direzione trasversale avviene tramite capriata principale. I carichi orizzontali vengono convogliati nelle fondamenta dai montanti di cemento.

1 Lamellare 2 × 16/90
2 Lamellare 2 × 16/16
3 Lamellare 20/20
4 Tirante in acciaio
5 Trave di colmo accoppiata in lamellare 18/18
6 Trave di colmo accoppiata in legno di conifere 14/18
7 Controvento in tondo di acciaio

Sistemi a tre cerniere con tirante

q
q
B_H
A_V
B_V

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito
carico orizzontale uniformemente distribuito

Deformazione

Andamento dei momenti

Andamento dello sforzo di taglio

Andamento dello sforzo normale

Sistemi a tre cerniere con tirante rialzato

Aste con rinforzo semplice

Aste con doppio rinforzo

Aste con triplo rinforzo

Sistema a quattro cerniere

a = 5-8 m

$h = \frac{l}{20} - \frac{l}{35}$

l = 15-50 m

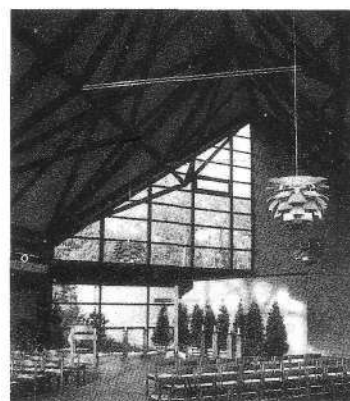
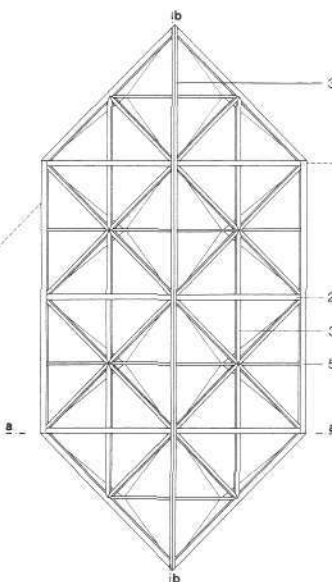
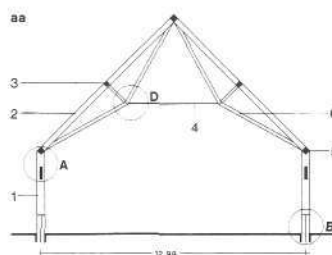
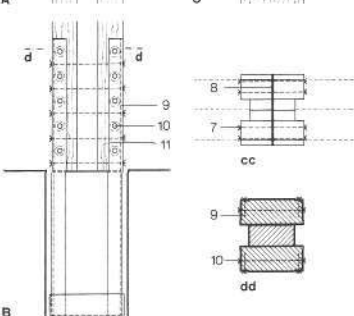
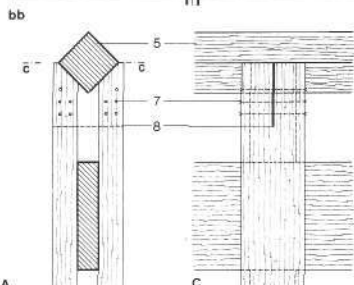
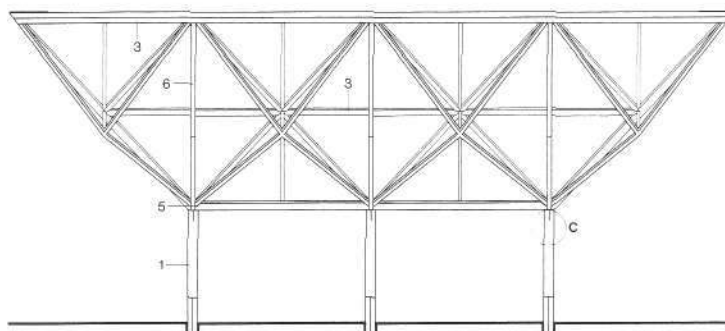
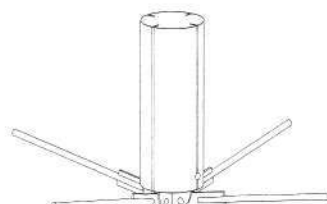
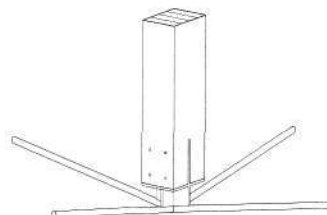
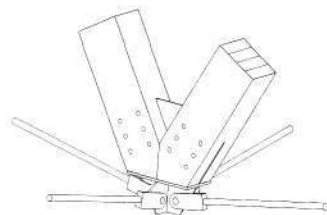
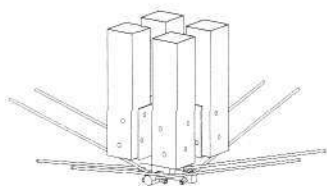
59 • Sala delle celebrazioni Waldfriedhof Lauheide

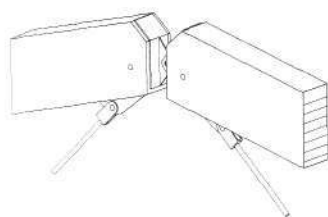
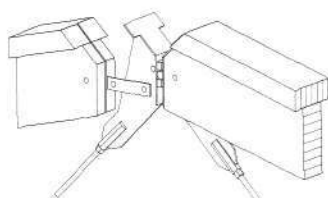
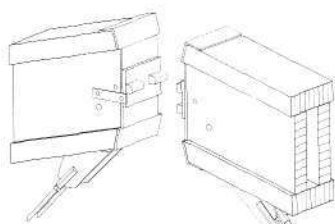
Mùnster, Germania; 1980

Architetti:
Wethmar e Wolf, Mùnster

Ingegnere strutturista:
G. Bobke, Mùnster

il tetto a due falde della sala delle celebrazioni è sostenuto da travi reticolari in legno rinforzate da tiranti inferiori.
Il sistema portante principale è collocato su un reticolo di 6,5 x 4,33 m ed è composto da capriate principali con luce di 13 m, che poggiano su montanti di legno incastrati nelle fondamenta. Capriate principali e diagonali come sistema di aste a tre cerniere rinforzate da tiranti inferiori.
Il tirante in tondo di acciaio a mezza altezza deila capriata riduce lo scorrimento orizzontale sui montanti. Connessioni dei punti nodali tramite lamiere di acciaio intagliate con spine di acciaio. Gli arcarecci continui poggiano su punti di incrocio delia capriata e sostengono un tavolato del tetto perlinato che agisce da lastra di irrigidimento.

1 Montante 12/26 + 2 × 14/36
2 Corrente superiore 26/26
3 Arcareccio 20/20
4 Tirante 2 × Ø 24 mm
5 Arcareccio inferiore 24/24
6 Corrente inferiore 16/16 e 18/18
7 Spina di acciaio
8 Lamiera di acciaio s = 10 mm
9 Angolare
10 Spina
11 Piastra di acciaio s = 10 mm

Connessione montante-tirante inferiore a disposizione spaziale

Lamiera incastrata con piastra di compressione e raccordi a vite

Lamiera incavicchiata con piastra compressa, aste compresse saldate

Montante a V, lamiera incastrata con piastra compressa

Montante in quattro parti, disposizione allargata, tiranti in acciaio avvitabili

Connessioni di tiranti nel punto di colmo

con piastra compressa e ala saldata, tirante con coprigiunti

con piastra compressa e ala di connessione, tiranti in acciaio filettato

Staffa di acciaio con ala di connessione ed eccentrico, tiranti doppi

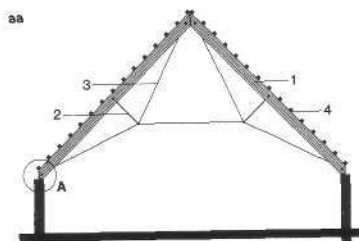
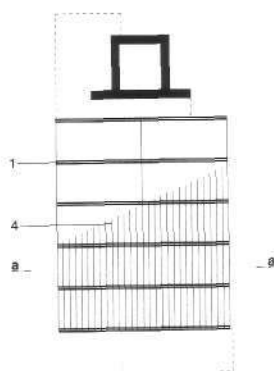
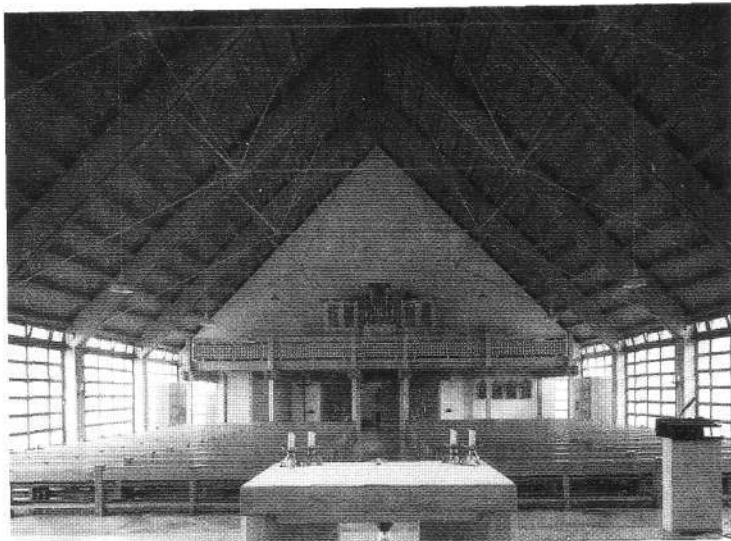
60 • Chiesa di St. Martin

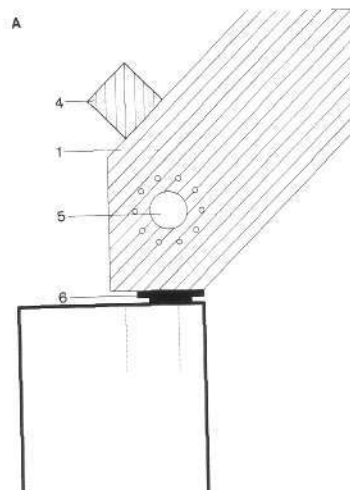
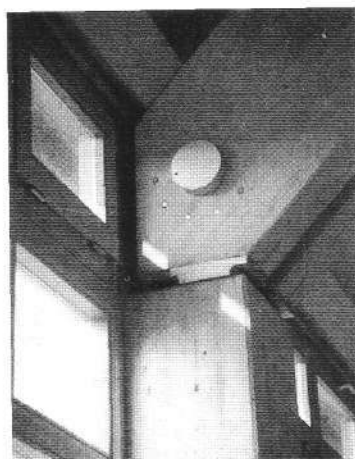
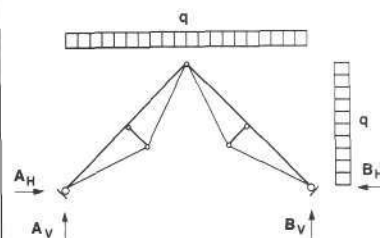
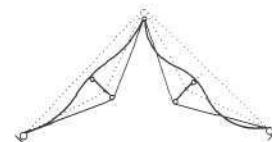
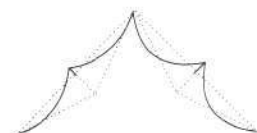
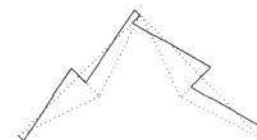
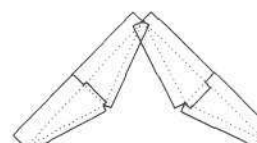
Ingolstadt, Germania; 1979-81

Architetti: A. Hempel, F. Brand, Monaco

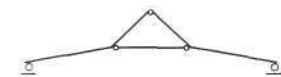
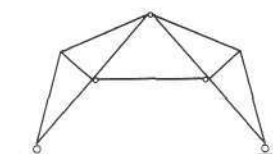
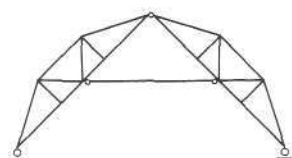
ingegneri strutturisti: Sailer & Stepan, Monaco

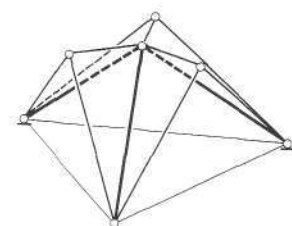
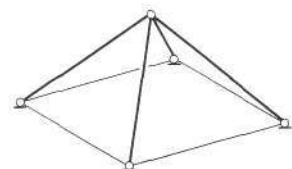
Un tetto simmetrico inclinato di 45° copre la navata della chiesa larga 20 m. Travi principali sotto forma di struttura a tre cerniere con tenaglie in lamellare rinforzate da tensori ogni 5,0 m per mezzo di aste compresse e aste tese in acciaio.

Appoggio su pilastri in cemento armato incastrati che assorbono ì carichi del vento in direzione longitudinale e trasversale. Arcarecci continui in legno massello e un tavolato con incastro a maschio e femmina con andamento diagonale spesso 36 mm per il sistema secondario. Stabilizzazione della costruzione in legno mediante l'effetto lastra del tavolato. I nodi di acciaio vengono mantenuti in posizione longitudinale tramite un tondino di acciaio ancorato alle pareti del timpano. Tetto coibentato con intercapedine per-ii passaggio di aria fresca di ventilazione, con copertura di tegole su incannicciata.

1 Trave principale in lamellare 2 × 20/60
2 Asta compressa in acciaio
3 Tirante in acciaio
4 Arcarecci 20/20
5 Fissaggio del tirante in acciaio
6 Cerniera di appoggio

A

Sistemi a tre cerniere composte da travi rinforzate inferiormente

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito
carico orizzontale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale

Sistemi a tre cerniere con catena

a sezione piena

a sezione piena a gomito

a sezione libera

a travi reticolari a forma di parabola

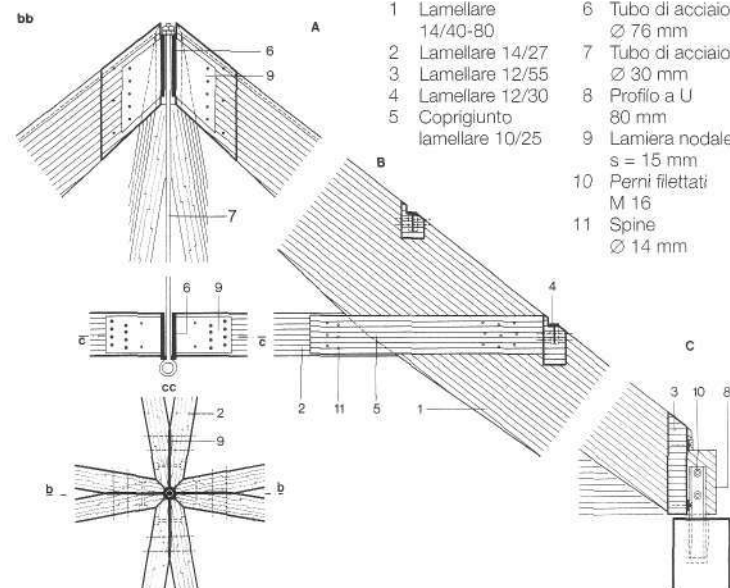
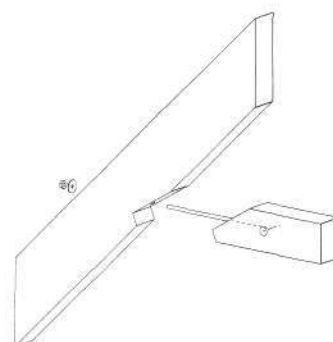
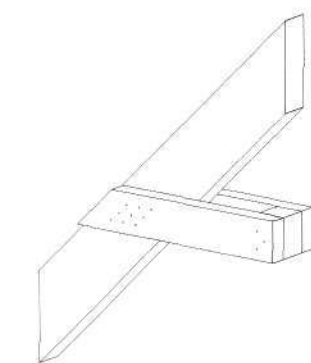
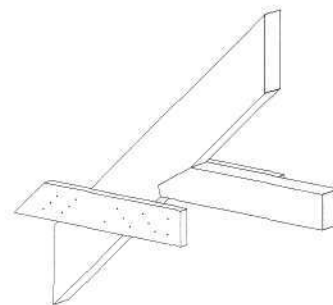
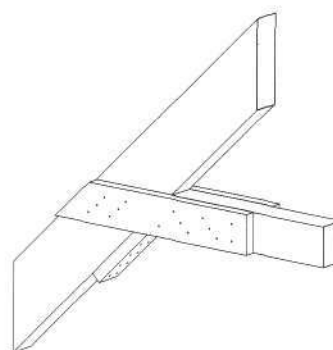
Sistemi incernierati disposti radialmente

Disposizione simmetrica

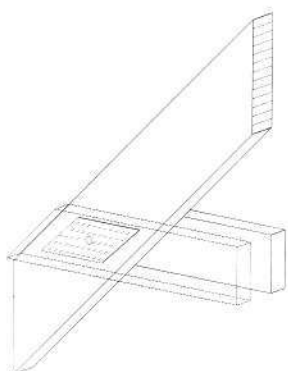
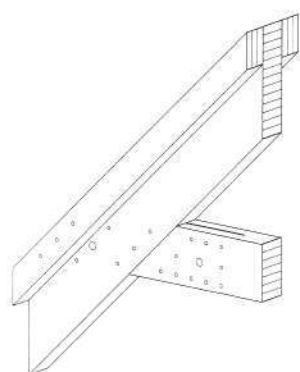
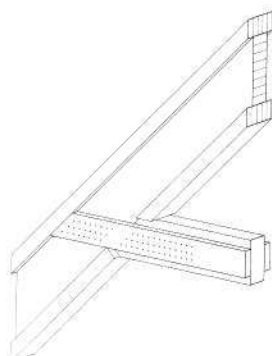
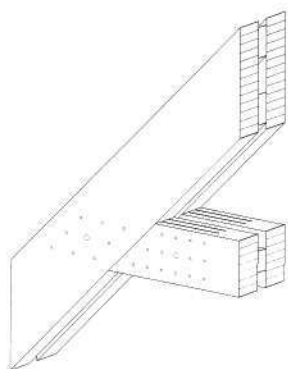
61 • Casa comunale

Monaco, Germania; 1976

Architetti: Riemerschmid, Burger, Schùtzenhuber, Monaco

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterer e Dittrich, Monaco

Catene disposte nello spazio sono collegate eccentricamente sopra il salone ottagonale. Dai quattro angoli si dipartono coppie di capriate che raggiungono il colmo, dove sono collegate in modo rigido per mezzo di una piastra di acciaio.
Le quattro piastre di acciaio sono saldati a croce con un tubo di acciaio, sul quale le catene sono sospese con un dado ad anello. Collegamento tra capriate e catene tramite coprigiunti in lamellare. Appoggi elastomerici su pilastri di cemento incastrati in modo scorrevole visti dai punti fissi. Anelli di arcarecci verticali sostengono l'assito del tetto composto da tavole spesse 45 mm, le quali sono collegate alle capriate tramite lamiere intagliate e spine. Tutte le travi sono in lamellare. Stabilizzazione complessiva tramite le catene. I carichi orizzontali vengono ceduti nei punti fissi alla costruzione sottostante di cemento.

Connessioni di catene

con incastro e connettore "Simplex"

con tenaglia chiodata o incavicchiata

con incastro e coprigiunti chiodati

con fissaggio a gomito e coprigiunti chiodati

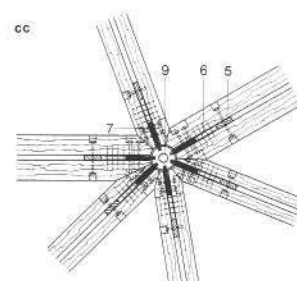
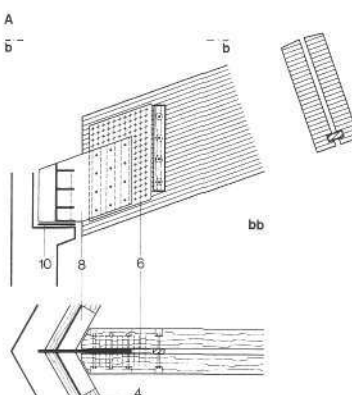
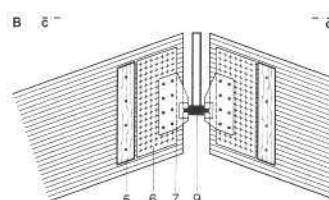
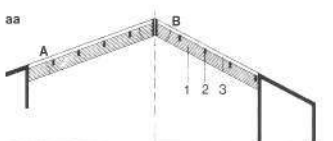
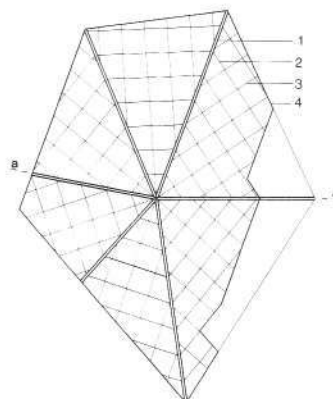
Connessioni di catene

con tenaglie e perni di cerniera

con lamiera intagliata

con coprigiunti laterali e incastro

con diverse lamiere intagliate

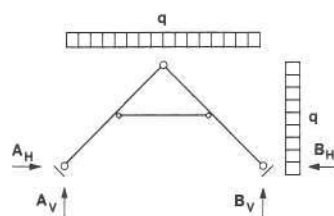
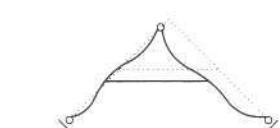
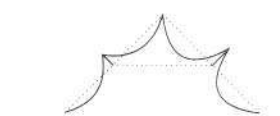
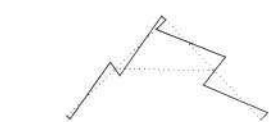
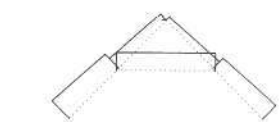
62 • Salone comunale

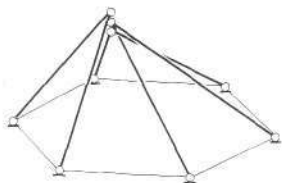
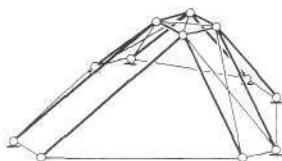
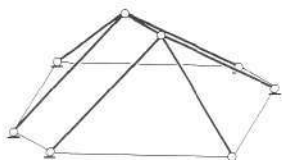
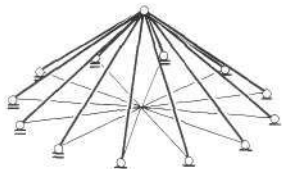
Karlsfeld, Germania; 1978

Architetti: H. Bierling. W. Schorr, Monaco

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterer e Dittrich, Monaco

Una struttura ad aste a tre cerniere disposta radialmente sostiene ii tetto a tenda sopra una sala comunale. Sopra la pianta asimmetrica sei capriate composte da travi doppie in lamellare si riuniscono nella cerniera del colmo. Esse posano su appoggi elastomerici mediante mensole di acciaio sporgenti ovvero tramite contatto.
Un tirante in lamellare completa l'ancoraggio di cemento armato sul lato aperto, per assorbire lo scorrimento orizzontale. La cerniera di colmo è composta da un tubo di acciaio verticale con una corona di appoggio saldata. Connessione alle piastre nodali tramite contatto. Fissaggio dell'appoggio con lamiere nodali chiodate. Gli arcarecci in lamellare sono disposti verticalmente rispetto alla pendenza del tetto. Sopra di essi travetti alti 40 cm sostengono i'assito del tetto composto da tavole spesse 35 mm.
I carichi orizzontali vengono assorbiti dalla costruzione sottostante in cemento.

1 Trave principale 2 × 18/126
2 Arcareccio in lamellare 18/60
3 Travetto in lamellare 11/40
4 Ancoraggio ad anello in lamellare 24/60
5 Legno di copertura 6/20
6 Piastra chiodata
7 Piastra nodale
8 Protezione in acciaio
9 Tubo di acciaio
10 Appoggio elastomerico

Sistema a catena scorrevole

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito
carico orizzontale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale

Disposizione asimmetrica e allargata

con tiranti interni

63 • Scuola internazionale

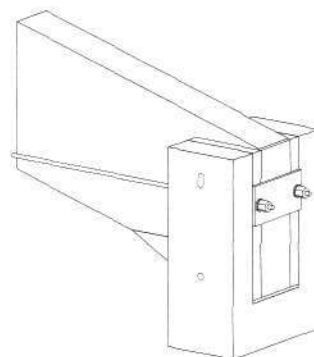
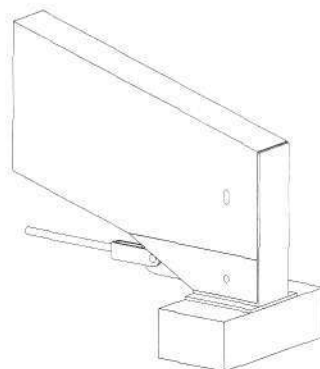
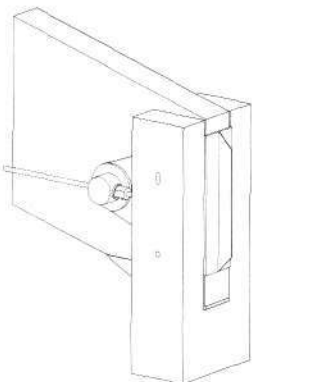
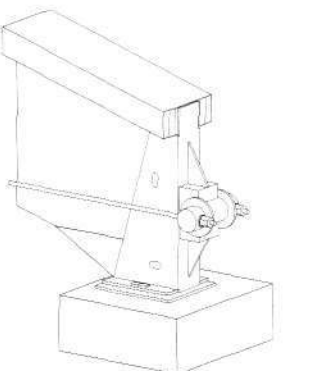
Percha, Germania; 1981

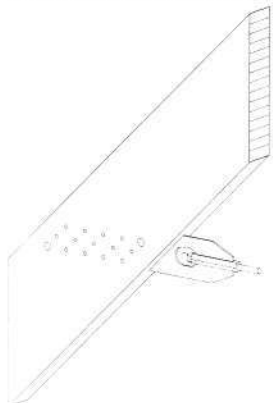
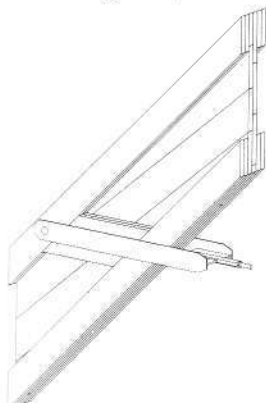
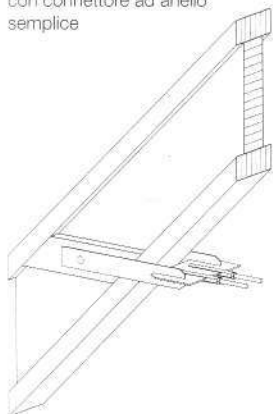
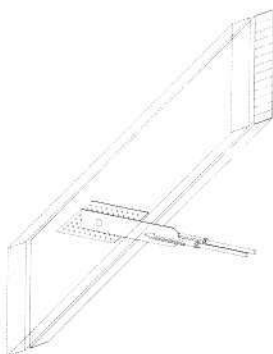
Architetto: J. Schlandt, Monaco

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterere Dittrich, Monaco

Tredici capriate in lamellare rinforzate da tiranti inferiori e disposte radialmente formano la cupola su una costruzione circolare del diametro di 22 m. Ogni trave è supportata nel terzo superiore da un puntone semplice in lamellare. Tiranti in acciaio rinforzano da un lato le capriate tra appoggio e cerniera del colmo, agendo dall'altro da tensori orizzontali del sistema di aste a tre cerniere. La piastra nodale centrale è appesa al colmo. La cerniera di colmo è composta da un prisma in lamellare con intaglio. Connessione tramite contatto e lamiera chiodata. Le forze di appoggio vengono cedute tramite appoggi elastomerici all'anello di cemento armato. Arcarecci ad andamento poligonale sostengono la copertura del tetto a intervalli di 2,3 m.

1 Trave in lamellare 18/50
2 Arcareccio in legno massello 14/26
3 Arcareccio in lamellare 14/57
4 Montante in lamellare 16/16
5 Lamiera chiodata s = 2,5 14 × 70
6 Lamiera chiodata s = 2,0 8 × 25
7 Spine
8 Dado M 20
9 Bullone M 12
10 Connettore Simplex M 16

Connessioni di tiranti all'appoggio

Tiranti in acciaio disposti lateralmente alla trave con contropiastra

Tirante in acciaio collegato centralmente a un profilo a T intagliato

Tirante collegato lateralmente mediante tubo articolato con staffa a U

Tirante fissato lateralmente mediante tubo articolato all'elemento in acciaio

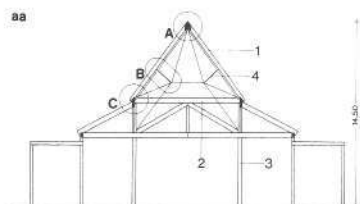
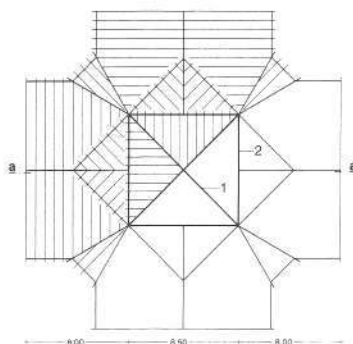
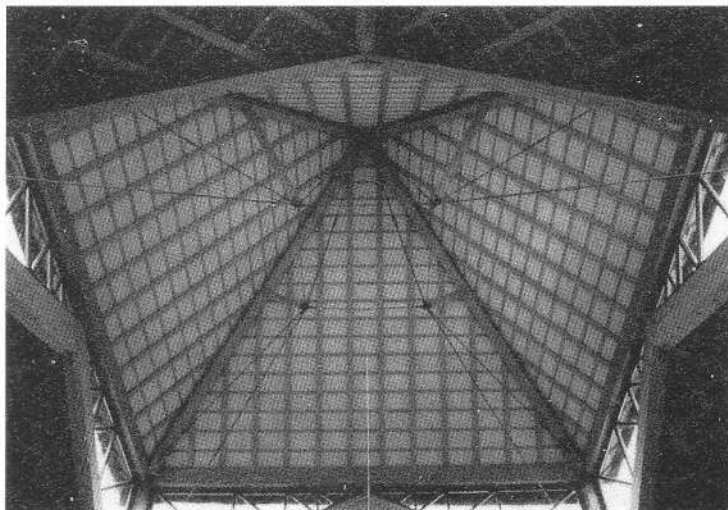
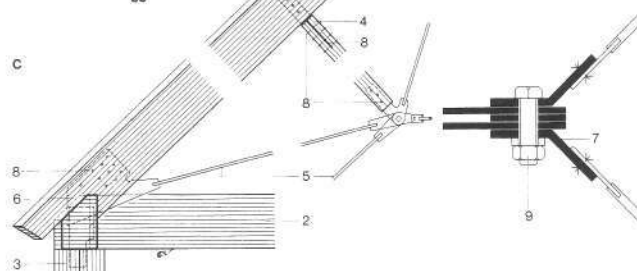
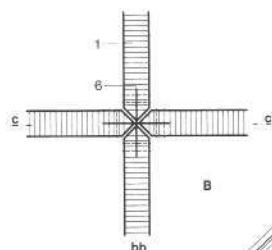
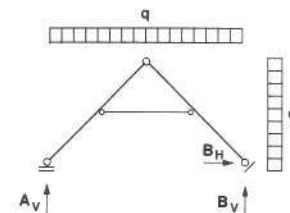
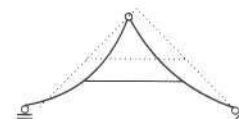
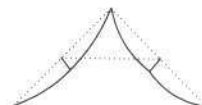
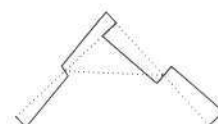
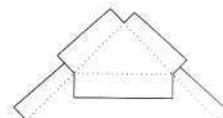
Connessione di tiranti sollevati

Lamiera intagliata e spine

Coprigiunto di acciaio esterno con connettore ad anello semplice

Coprigiunto di acciaio esterno con connettore ad anello semplice, tirante doppio

Connessione con perno di cerniera, tirante doppio

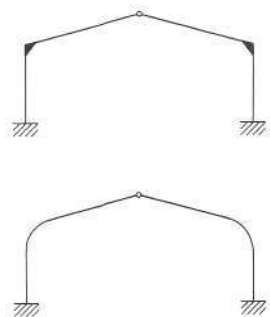
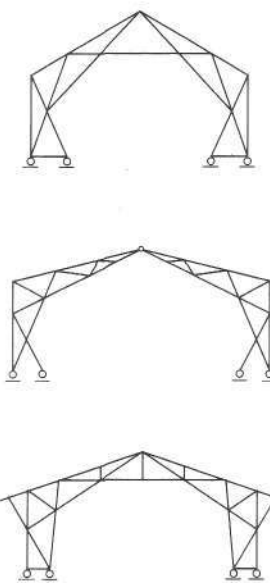
64 • Centro ecclesiastico

Eckenhaid, Germania; 1988

Architetto: H. Zeitler, Monaco

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterer e Dittrich, Monaco

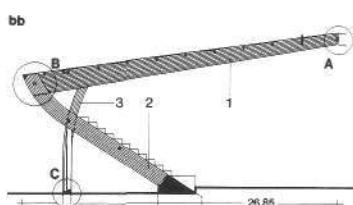
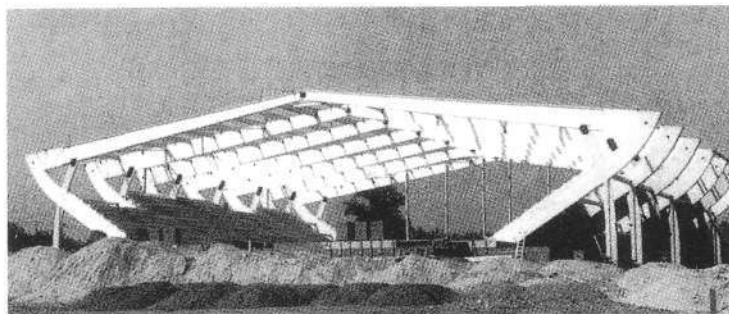
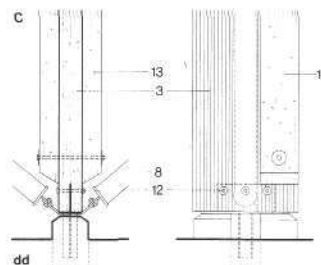
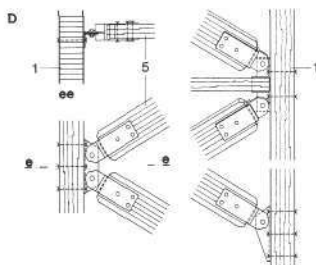
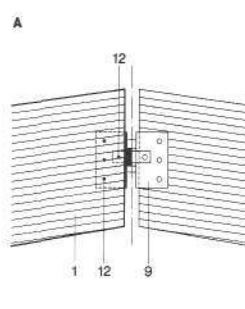
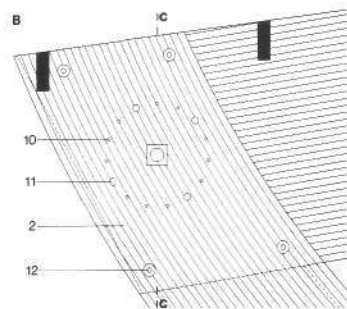
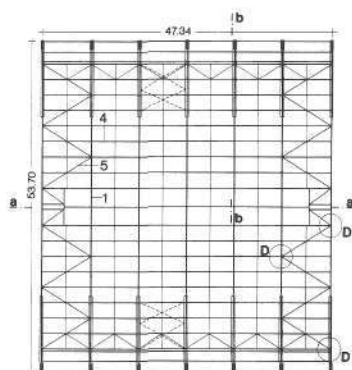
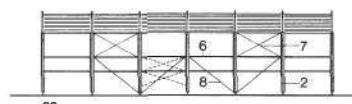
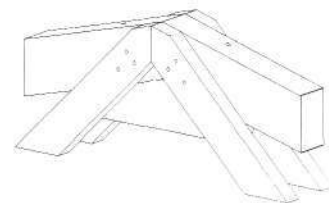
Copertura del centro ecclesiastico composta da quattro costruzioni di tetto a due falde disposte a croce, che al centro sono sormontate da una torre piramidale. La sommità della torre copre una pianta quadrata con lato di 8,5 m, negli angoli sono collocati montanti di legno. Capriate d'angolo composte da correnti in lamellare rinforzati da tiranti. I montanti sospesi sono irrigiditi dal collegamento orizzontale dei punti nodali. Stabilizzazione nello spazio dei montanti tramite tensori che collegano la base dei montanti ai tiranti inferiori. Travi perimetrali in lamellare a mo' di tiranti del sistema nello spazio e come travi a due campate per sostenere i travetti. Tutte le connessioni sono realizzate con nodi di lamiera di acciaio intagliati, collegati con spine. I travetti con andamento parallelo alla pendenza sono conformati come travi profilate dì legno.

1 Lamellare 20/42
2 Lamellare 20/42
3 Lamellare 28/28
4 Asta compressa 12/12
5 Tondo di acciaio Ø 20 mm
6 Lamiera nodale s = 8 mm
7 Lamiera s = 10 mm
8 Spine Ø 12 mm
9 Perno filettato M 24

Sistema a catene con appoggio scorrevole

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito
carico orizzontale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale

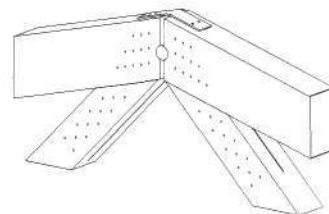
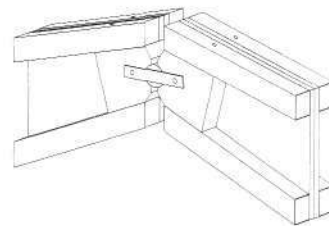
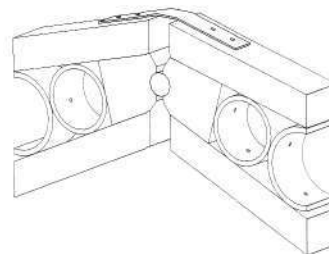
Sezioni ad anima piena

Sezioni reticolari

65 • Palazzetto dello sport

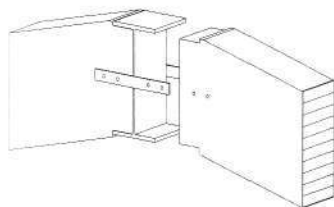
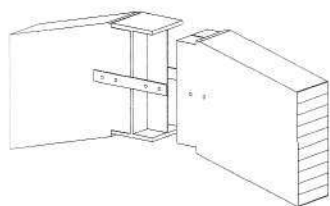
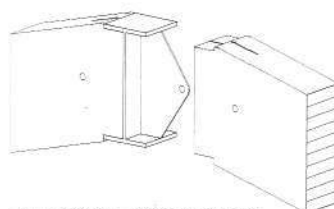
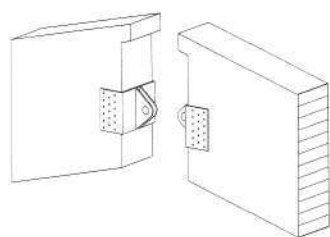
Roanne, Francia; 1988

Architetto: Hiatus, Roanne

Ingegneri strutturisti:
M. Flach, R.Weisrock, SA,
Saulcy-sur-Meurthe

La costruzione di tribuna e tetto per un palazzetto dello sport con 3000 posti a sedere è composta da telai simmetrici, reciprocamente incernierati nel punto di colmo. Il rompitratta inferiore doppio in lamellare con elemento ligneo intermedio scalare sostiene il peso della tribuna; quello superiore, semplice, forma la trave del tetto. Essi sono collegati tra di loro con un cerchio di spine. I puntoni semplici sono assicurati contro la pressoflessione nella zona inferiore. I gradini della tribuna sono in elementi di cemento armato prefabbricati. Stabilità trasversale tramite strutture di irrigidimento composte da diagonali di acciaio e puntoni tra rompitratta inferiori. Arcarecci a una campata in lamellare sostengono la copertura del tetto in lamiera trapezoidale. Irrigidimento del piano del tetto mediante diagonali di lamellare. Le tensioni orizzontali in direzione longitudinale vengono trasmesse nelle fondamenta dalle diagonali in tubo di acciaio.

1 16/94-175
2 2 × 14/121
3 Puntone in lamellare 16/73
4 Arcareccio in lamellare 8/35
5 Controvento in lamellare 11/22
6 Lamellare 16/25
7 Tondo di acciaio ∅ 27 mm
8 Tubo di acciaio ∅ 140 mm
9 Staffa di acciaio
10 Spina ∅ 24 mm
11 Perno filettato M 24
12 Perno filettato M 20
13 Lamellare 11/26

Cerniere di colmo

Assorbimento dello sforzo di taglio tramite blocchetto interno avvitato

con tubo di acciaio e fissaggio superiore

con riempimento in legno duro e fissaggio laterale

con riempimento in legno duro e fissaggio superiore

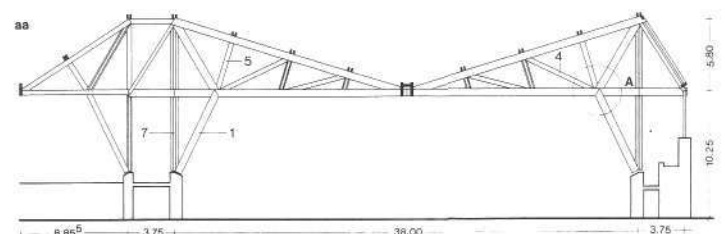
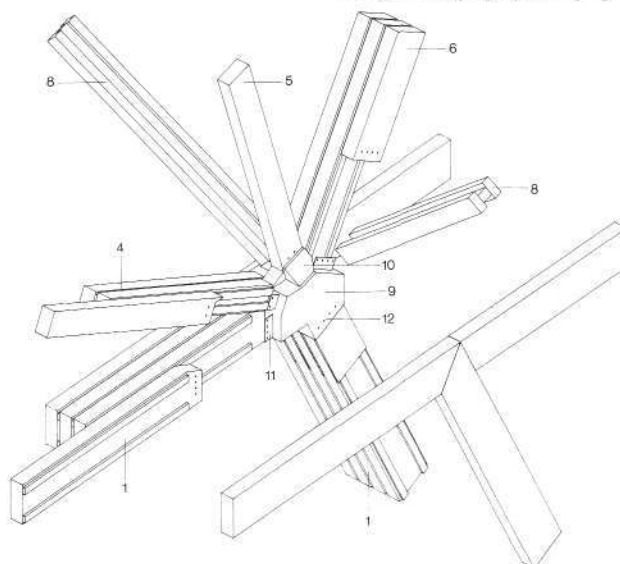
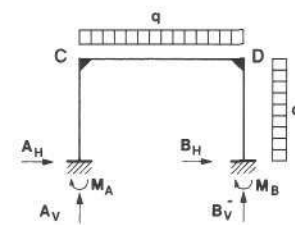
Cerniere di colmo

con profilo a I e fissaggio laterale

Profilo a I con anima intagliata e fissaggio

con profilo a I, fissaggi tramite anima a intaglio e perno

con piastra compressa e perno di cerniera

66 • Palazzetto del ghiaccio

Verbier, Svizzera; 1983

Architetto: A. Zufferey, Sierre, Svizzera

Ingegneri strutturisti:
Natterer Bois-Consult, Etoy, Svizzera

Sistema di travi principali della copertura composto da telai reticolari staticamente indeterminati con un carico di neve uniformemente distribuito di circa 8 kN/m^2. Si può proseguire la costruzione come telaio continuo per la copertura dei campi sportivi attigui. Ancoraggio posteriore dei telai con barre di acciaio. I puntoni principali del telaio sono stati dimensionati con pressione di 400 t. Connessioni tese lamiera piana chiodata e perni di cerniera. Trasmissione delle forze dei nodi di compressione principali con un nucleo di legno compensato di faggio tramite contatto. Travi secondarie lunghe 10 m come capriate combinate di tipo a tralìccio, che, con altezze costruttive variabili, sono conformate secondo lo stesso principio geometrico.

1 5 × 20/60
2 3 × 20/60
3 2 × 20/60
4 3 × 20/36
5 20/40
6 3 × 20/62
7 20/60 + + 2 × 20/27
8 2 × 12/26 + + 12/16
9 Nucleo in compensato s = 27 cm
10 Spessore in compensato
11 Lamiera s = 8 mm
12 Spina Ø 20 mm

Telai privi di cerniere

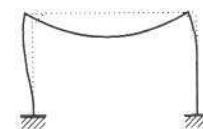
Carico:
carico verticale uniformemente distribuito
carico orizzontale uniformemente distribuito

$$k = \frac{J_R\, h}{J_S\, l}$$

$$H = A_H = B_H = \frac{q \cdot l^2}{4\,h\,(k+2)}$$

$$A_v = B_v = \frac{q\, l}{2}$$

$$M_A = M_B = H \cdot \frac{h}{3}$$

$$M_C = M_D = -\frac{2}{3}\, H \cdot h$$

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale

Sistemi ad anima piena

Telaio rampante

Traverso retto

Traverso piegato

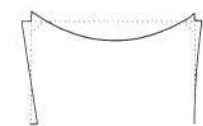
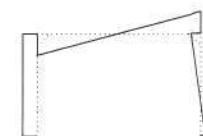
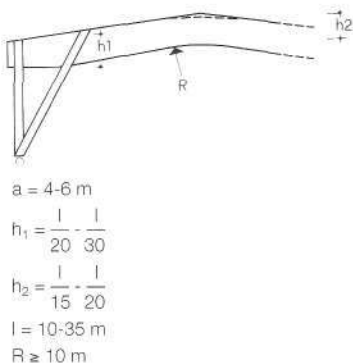
Traverso con doppia piega

a = 4-6 m

$h_1 = \frac{l}{20} - \frac{l}{30}$

$h_2 = \frac{l}{15} - \frac{l}{20}$

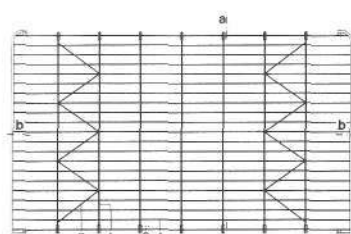
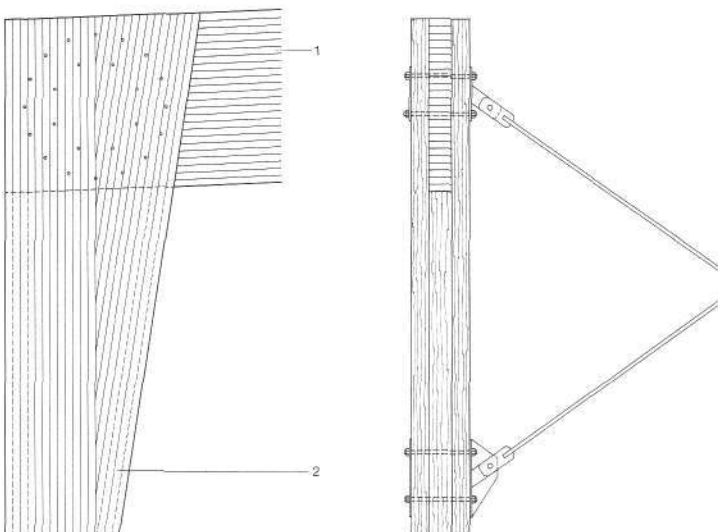
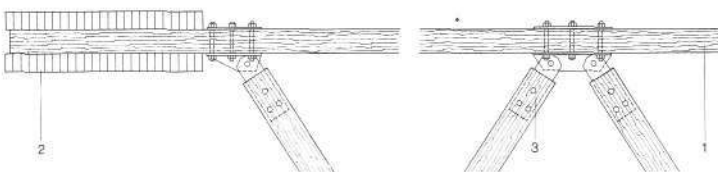
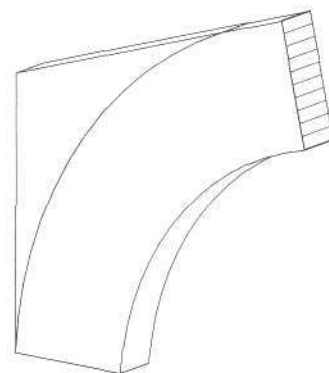
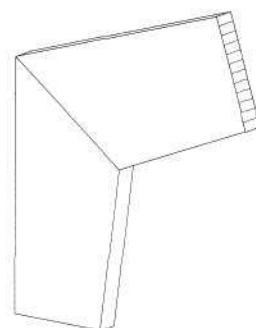
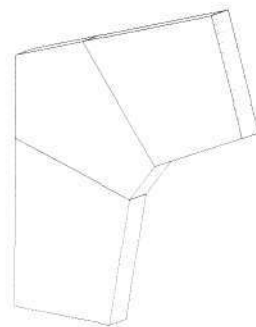
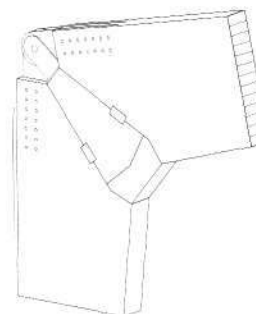
l = 10-35 m

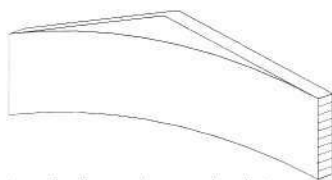
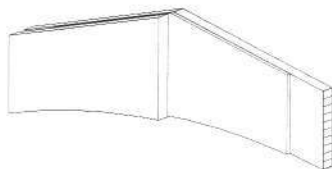
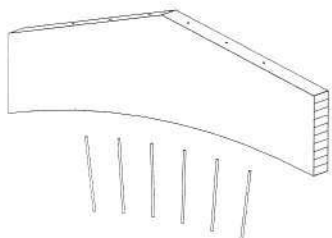
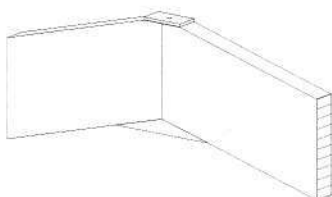
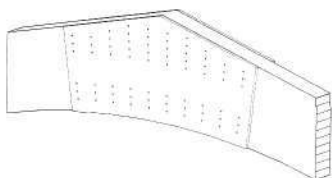
R ≥ 10 m

67 • Palestra

Maradas, Francia; 1980

Architetti: J. M. Carpentier, A.R.T.E., Cergy

Ingegneri strutturisti:
R. Weisrock, S.A., Saulcy-sur-Meurthe

La palestra di dimensicni 26 x 44 m è sormontata da archi incernierati in lamellare. Il traverso leggermente rialzato è collegato in modo rigido ai montanti con cerchi di spine. I montanti sono doppi con legni di tamponamento. I muri sormontati da timpano sono fissati lateralmente al bordo superiore della costruzione di legno. Gli arcarecci di legno massello si estendono come travi Gerber. Due campate con diagonali di legno sono irrigidite come controventi. Esse cedono le forze orizzontali a elementi verticali, che a metà altezza prendono la forma di croci di sant'Andrea, per convogliarle ai muri della facciata.

1 Trave in lamellare 13,5/95
2 Montante in lamellare 2 x 10/54-105
3 Diagonale in legno di conifere 7/17
4 Travetto in legno di conifere 7/20

Nodi di telaio rigidi con sezione piena semplice

Angolo arcuato con pennacchio inserito

con incastro a coda di rondine

con doppio incastro a coda di rondine

Elemento in acciaio a intaglio per forze di trazione, cuneo in legno duro per forze di compressione

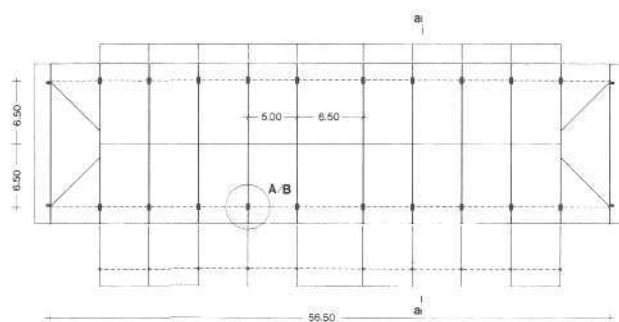
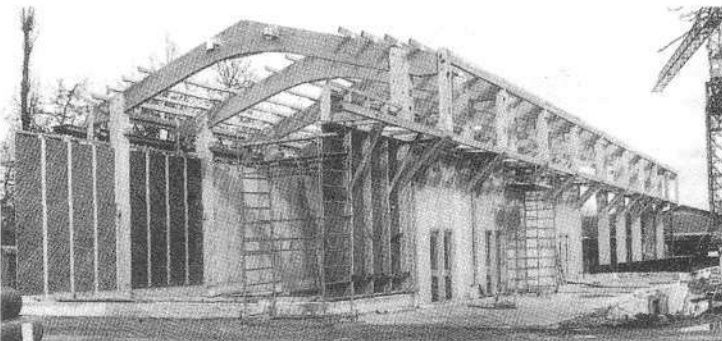
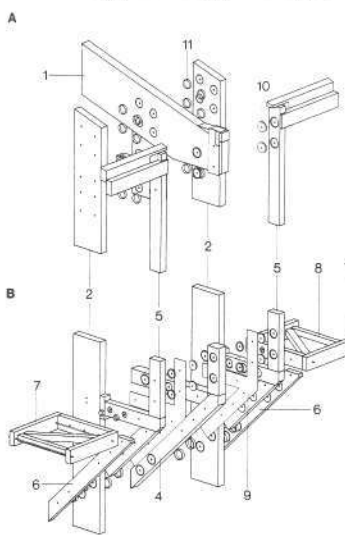
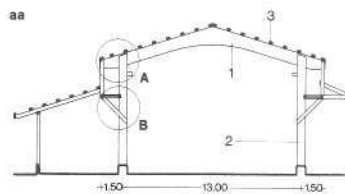
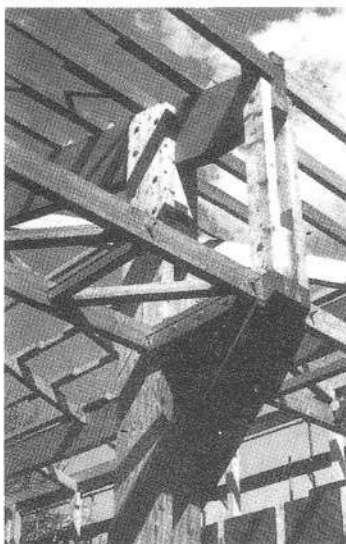
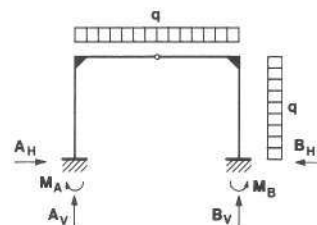
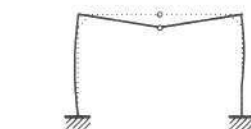
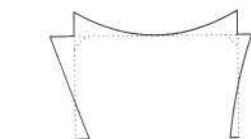
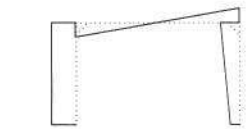
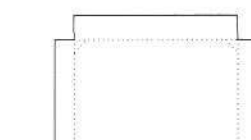
Trazione trasversale di travi ricurve nella zona di colmo

Lamelle di copertura non incollate

Rinforzo mediante pannello ad anima

Assorbimento della trazione trasversale per mezzo di perni filettati incollati

Giunto a coda di rondine con perno filettato pretensionato e molla a tazza

Pannelli pressati piani, pannelli multistrato semplici o da costruzione incollati e inchiodati

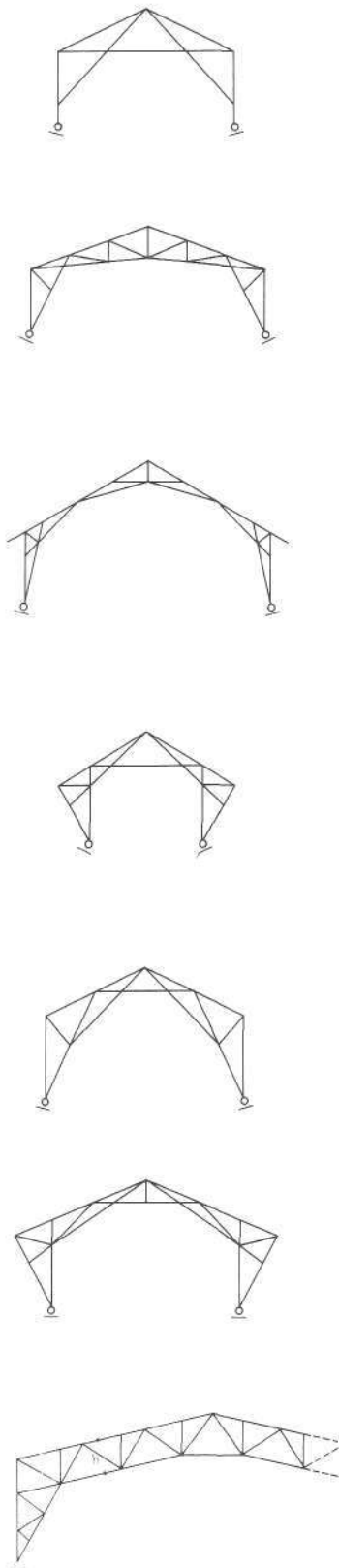
68 • "Juchhof"

Zurigo, Svizzera: 1983

Architetti: W. E. Christen e Zweifel, Strìckler e associati, Zurìgo

Ingegneri strutturisti: E. Stucki & H. Hofacker, Zurigo/Charr

Fienile per un'azienda agricoìa. Sistema di travi principali composto da telai a due cerniere in capriata ad arco su montanti gemelli e un interasse di 5 m e 6,50 m nella campata centrale. Luce di 12,60 m. Incastro dei nodi di telaio tramite connettori ad anello e piastre di acciaio. Struttura portante secondaria composta da travetti. Stabilizzazione del telaio tramite una trave reticolare orizzontale e tavolato di diagonali nel settore inferiore. La trave orizzontale assorbe contemporaneamente i carichi del vento e del corrente di appoggio e serve da costruzione sottostante per un ballatoio. I carichi orizzontali vengono convogliati nelle fondamenta tramite i telai. Copertura del tetto in pannelli ondulati di fibrocemento.

1 Capriata ricurva 18/83,3
2 14/60
3 2 × 8/18-12/18
4 18/24
5 14/24
6 8/24
7 12/24
8 10/10
9 Lamiera s = 6 mm
10 Connettore a disco
11 Connettore ad anello

Telai a una cerniera

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito
carico orizzontale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale

Varianti di sistema a carico crescente

a = 4-10 m

$h = \frac{l}{10} - \frac{l}{15}$

l = 10-50 m

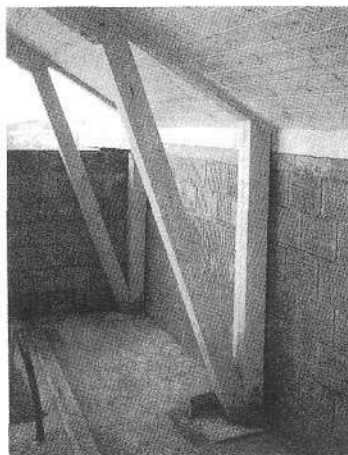
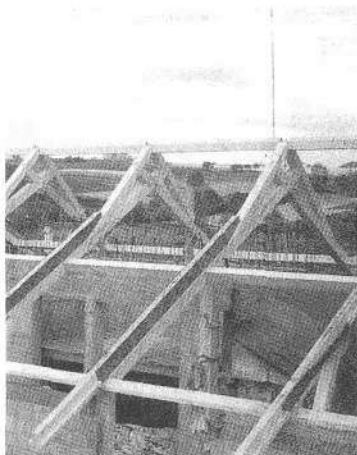
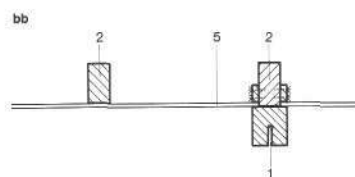
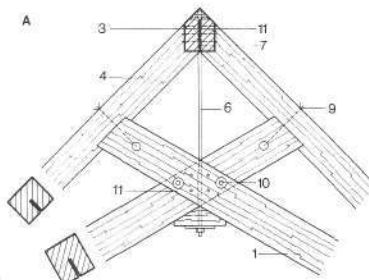
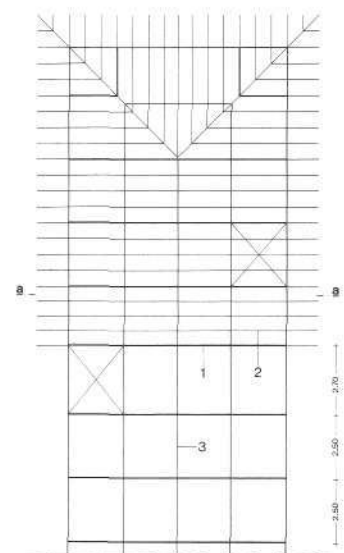
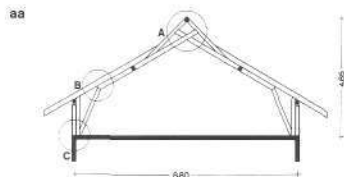
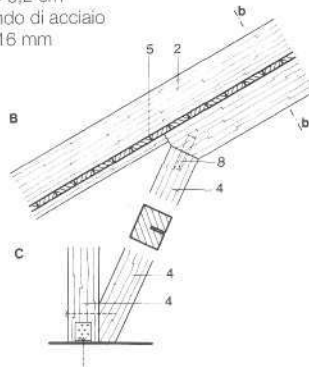
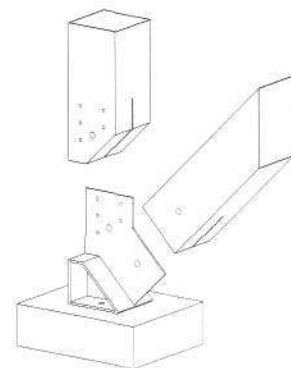
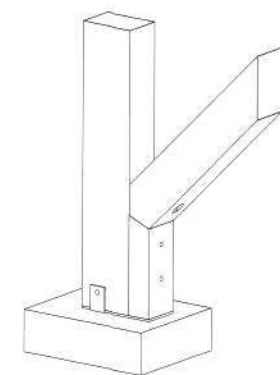
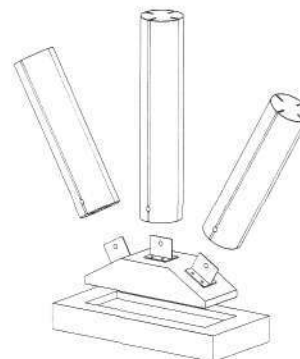
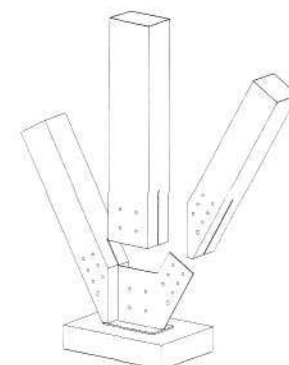
69 • Centro medico-sociale

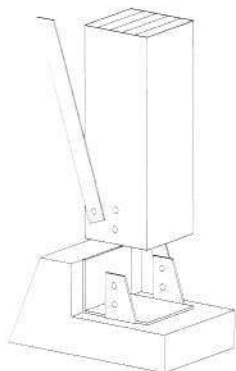
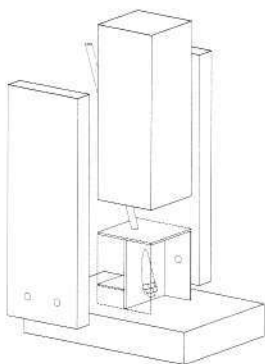
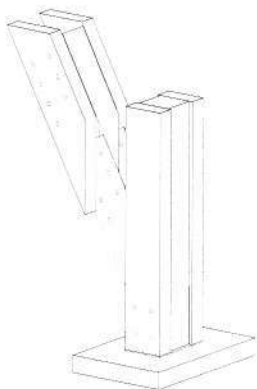
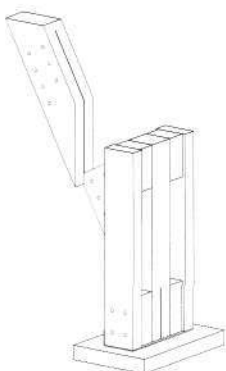
Avenches, Svizzera; 1989

Architetti: Righetti, Boudois, Joye, Payerne

Ingegneri strutturisti:
Natterer Bois-Consult, Etoy, Svizzera

Il sistema portante principale è formato da telai a due cerniere, disposti a distanza di 2,5 m e con una luce di 8,90 m.
Il traverso del telaio è composto da due travi a sezione quadrata incavicchiate, che formano un profilo a T. La parte superiore di questa sezione è situata allo stesso piano dei travetti. Sistema secondario in arcarecci posati tra le capriate, sopra i quali è collocato uno strato di travetti, I punti nodali sono eseguiti da un lato, con unioni legno-legno di tipo tradizionale, dall'altro con spine, in direzione trasversale irrigidimento tramite l'effetto telaio delle capriate, in quella longitudinale mediante controventi formati da barre. Dopc il montaggio delle capriate principali e degli arcarecci è stato posato il tavolato del tetto a vista tra le capriate ed è stato applicato lo strato impermeabile.
Poi si è proceduto a installare i travetti, l'isolamento e il sottotetto.

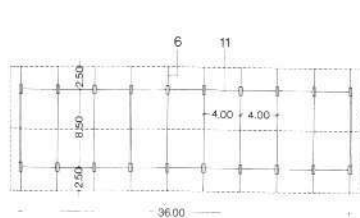
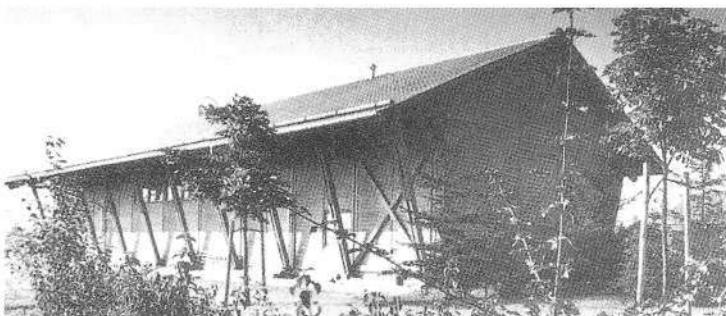
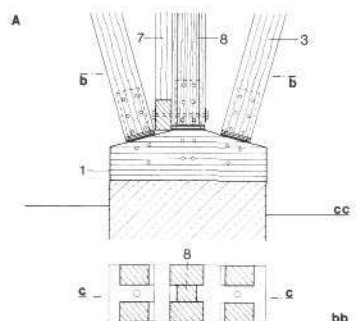
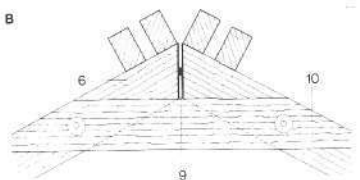
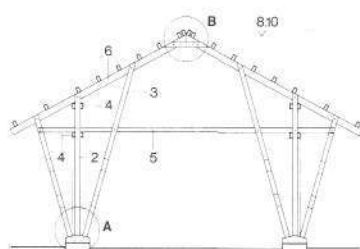
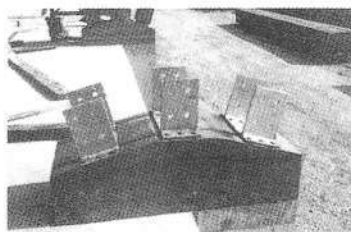
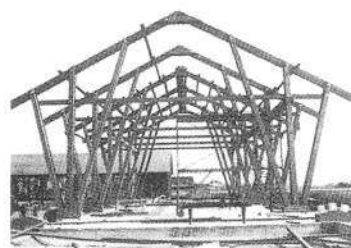
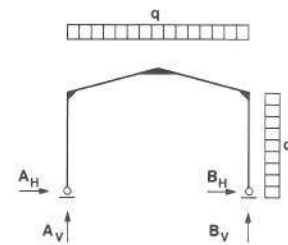
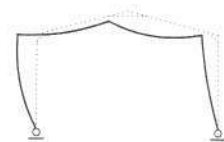
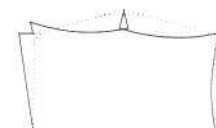
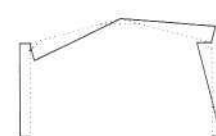
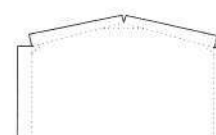
1 Legno di conifere 16/18 con fresatura di stabilizzazione
2 Legno di conifere 10/20
3 Legno di conifere 14/20
4 Legno di conifere 16/14 con fresatura di stabilizzazione
5 Tavolato d = 3,2 cm
6 Tondo di acciaio ∅ 16 mm
7 Lamiera intagliata s = 6 mm
8 Tassello in legno duro ∅ 40 mm
9 Connettore Simplex ∅ 12 mm
10 Perno filettato M 12
11 Spina ∅ 12 mm

Punti di base per telai liberi

Lamiera di acciaio a intaglio
Connessione con spine

con fissaggio a gomito
e coprigiunto incementato

con blocco di legno duro e profili a T

con lamiera di acciaio incastrata per fissaggio in posizione e sollecitazione dei vortici di vento

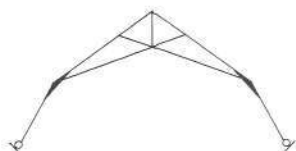
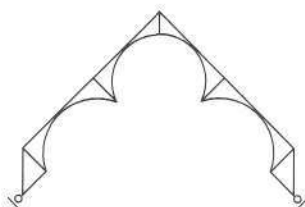
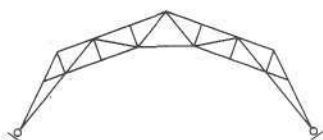
Punti di appoggio di montanti di telaio liberi

con coprigiunti cementati, tirante avvitato

su profilo di acciaio, tirante regolabile

con lamiera di acciaio interna e spine

con lamiera di acciaio intagliata e spine

70 • Cantiere edile

Maisach, Germania: 1981-82

Architetti:
S. Wìdmann, U. Graf, Monaco

Cantiere edile con edificio di abitazione e uffici, officina e deposito veicoli. Struttura portante del deposito veicoli: costruzione in legno composta da dieci capriate a telaio con larghezza dei montanti di 8,50 m e un interasse di 4,0 m. Montanti doppi in tre parti con due legni di rivestimento, ognuno da 10, 14, 60 cm nel terzo dei montanti obliqui e con un legno di rivestimento continuo per quelli verticali, che poggiano su soglie di legno duro incollate con profili dì acciaio intagliati, allargate verso l'alto in modo tale da formare un tetto a due falde con una sezione di legno quadrato semplice e con una pensilina di 2,50 m circa. Irrigidimento longitudinale per mezzo di croci di sant'Andrea e con diagonali sui piano della facciata.

1 Soglia in legno duro incollata 34/94/30
2 2 × 12/20
3 2 × 12/18
4 2 × 10/20
5 10/18
6 10/26
7 12/20
8 Legno di rivestimento 10/14
9 Guarnizione della cerniera di colmo
10 2 × 6/20
11 Controvento

Telai a due cerniere

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito
carico orizzontale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale

Sezioni libere

Scomposizione nel settore di colmo

composta da puntoni e archi

Costruzione reticolare
Telaio rigido
e = 0,60-0,85 m

Telaio rigido con ritti verticali

$h = \frac{l}{30} - \frac{l}{35}$

l = 8-13 m
∡ = 15-23°

Telaio rigido con ritti obliqui

$h = \frac{l}{35} - \frac{l}{40}$

l = 10-23 m
∡ = 15-23°

Padiglione con tetto a una falda in legno squadrato

$h = \frac{l}{22}$

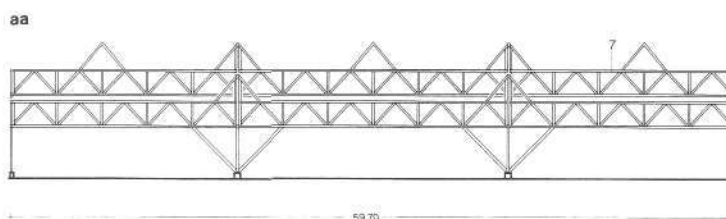
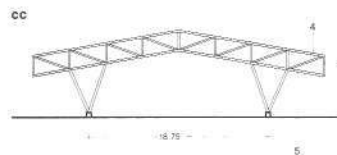
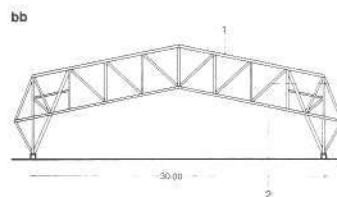
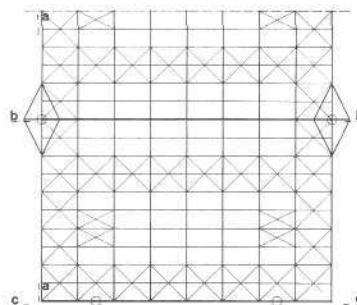
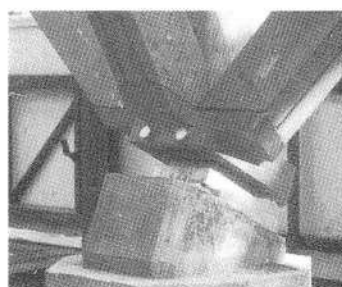
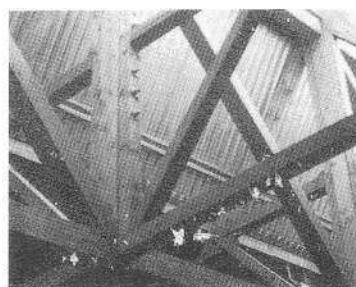
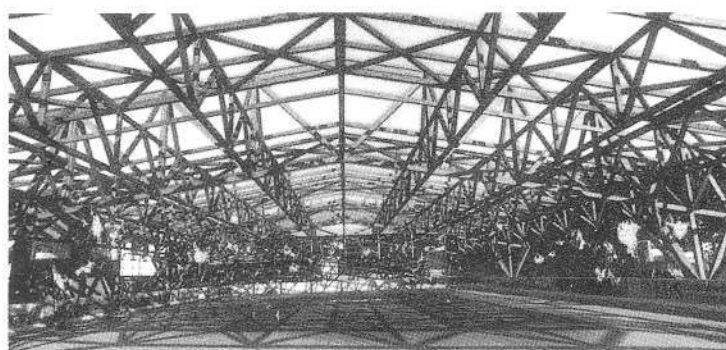
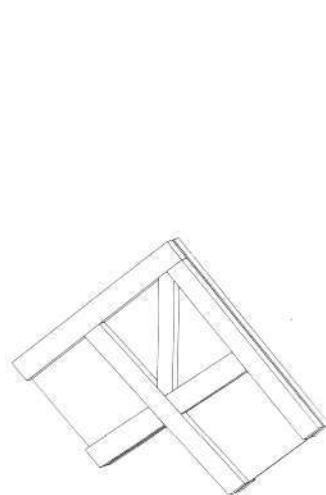
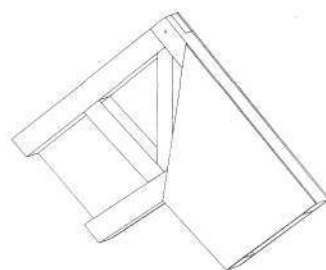
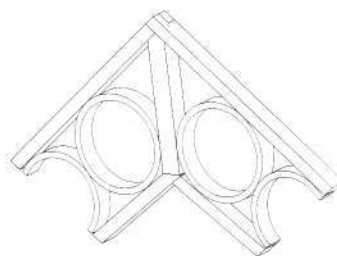
l ≤ 6,50 m
∡ = 10-15°

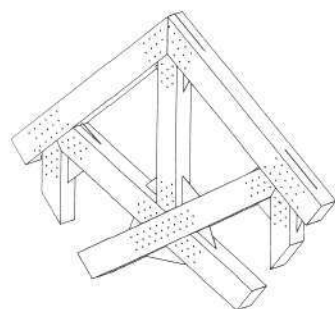
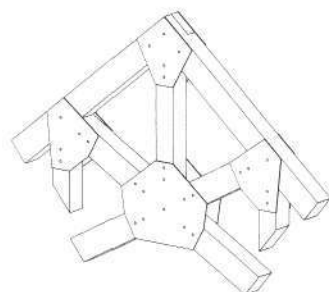
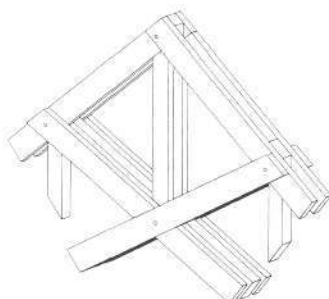
71 • Pista di pattinaggio - Stadio Waldau

Stoccarda, Germania; 1983

Architetti: Ufficio tecnico di Stoccarda, Klenk, Kuilak, Gänßle, Muller

Ingegnere strutturista:
R Häußermann, Stoccarda

Copertura successiva di una pista di pattinaggio dì dimensioni 30 x 60 m con costruzione a telaio reticolare. Quattro telai reticolari a due cerniere, di cui due con sporgenze sui lati del timpano, convogliano ì carichi in otto appoggi rotanti regolabili. La travatura secondarla è composta da travi reticolari a una campata. A causa della diversa altezza di costruzione delle travi principali e secondarie risulta una geometria dei tetto che funge anche da stabilizzazione del corrente superiore della trave principale. Strutture a puntoni incrociati reticolari sulla superficie del tetto fungono da controventi longitudinali e trasversali. Il convogliamento delle forze orizzontali in direzione trasversale avviene per mezzo dei telai principali, in direzione longitudinale per mezzo dell'incastro di tipo a telaio della trave secondaria con le travi principali centrali. I telai sono in lamellare, le travi secondarie in lamellare e legno massello. Arcarecci continui in legno massello sostengono una copertura in lamiera di alluminio ondulata.

1 Corrente superiore in lamellare 20/20
2 Corrente inferiore 22/20
3 Aste 16/20
4 Corrente superiore in lamellare 20/16
5 Corrente inferiore in lamellare 20/16
6 Aste 20/16
7 Travetto 10/18

Nodi di colmo rigidi

per travi ad anima

per travi scatolari

per travi ad anello

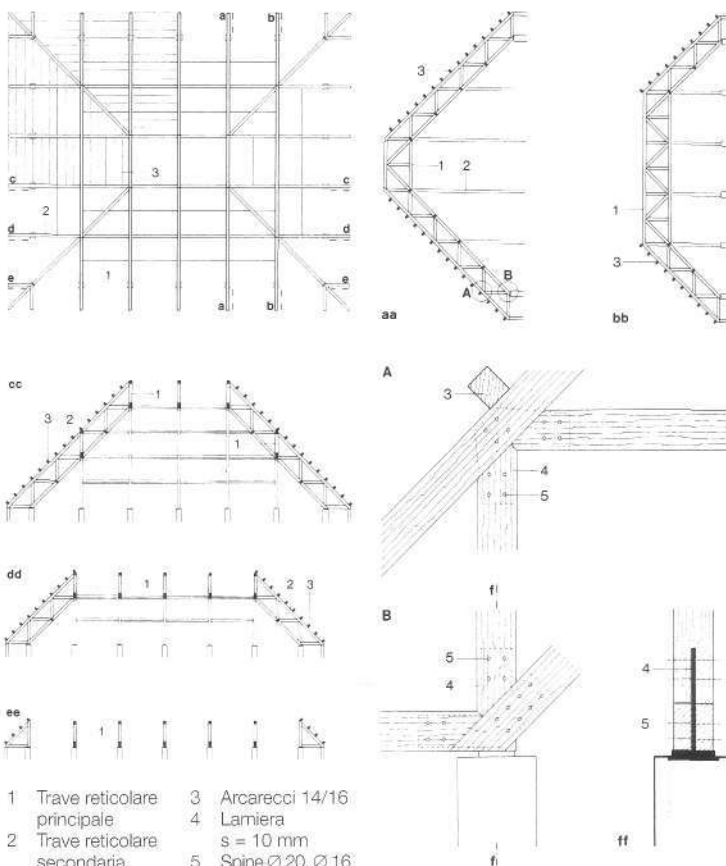
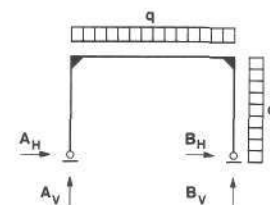
Nodi di colmo rigidi per travi reticolari

con lamiere nodali intagliate

con piastre nodali laterali

sezione composta con bulloni e connettori ad anello

72 • Mercato coperto

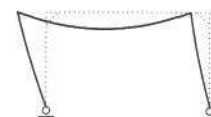
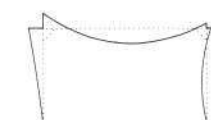
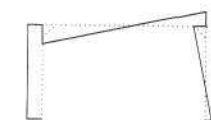
Neuburg an der Donau, Germania; 1983

Architetto: T. Hugues, Monaco

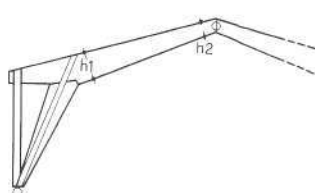
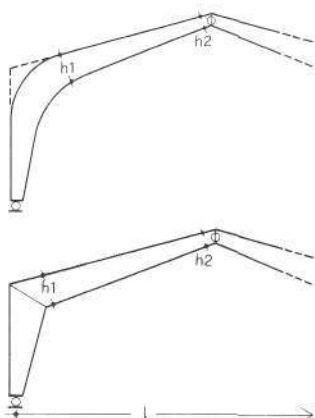
ingegneri strutturisti:
W. Pfeiffer, G. Huber, Oberpframmern

Tetto inclinato di 45° sui quattro lati sopra un padiglione per mercato ed esposizioni, sotto forma di costruzione reticolare composta da sezione di legno massello da 20/20 cm. Reticolo di costruzione quadrato di 3,60 m. Sul lato di pianta corto le travi principali sostengono un telaio reticolare a due cerniere con geometria variabile a seconda della sezione. Perpendicolarmente ad esso sono collocate travi secondarie conformate come travi reticolari a una campata con la stessa geometria nei punti nodali. Le travi sporgono dall'appoggio di estremità. Connessione tramite piastre nodali intagliate e spine. Struttura del tetto composta da arcarecci, controsoffitto, assito, copertura. Stabilizzazione della costruzione per mezzo della disposizione spaziale delle travi reticolari.

1 Trave reticolare principale
2 Trave reticolare secondaria
3 Arcarecci 14/16
4 Lamiera s = 10 mm
5 Spine ∅ 20, ∅ 16

Telai a due cerniere

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito
carico orizzontale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

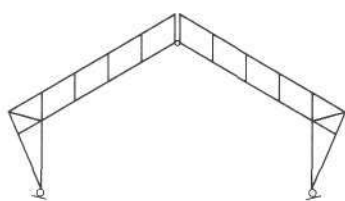
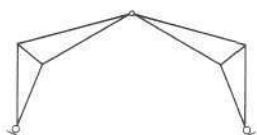
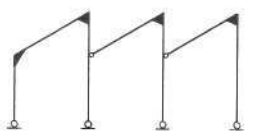
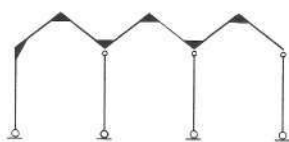
Sforzo normale

Telai a tre cerniere

Legno lamellare
a = 5-10 m

$h_1 = \frac{l}{20} - \frac{l}{40}$

$h_2 = \frac{l}{30} - \frac{l}{60}$

l = 10-50 m

Sezioni scatolari o ad anima

Telaio continuo

Tetto di tipo *shed*

Tetto a due falde

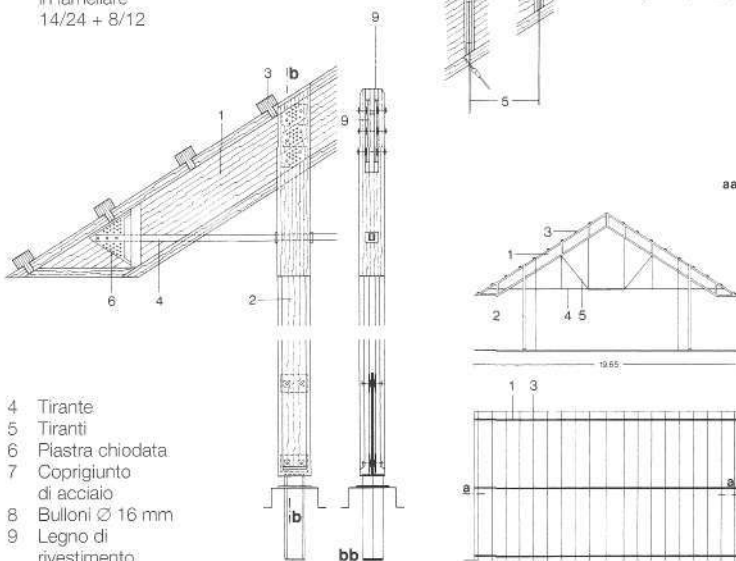
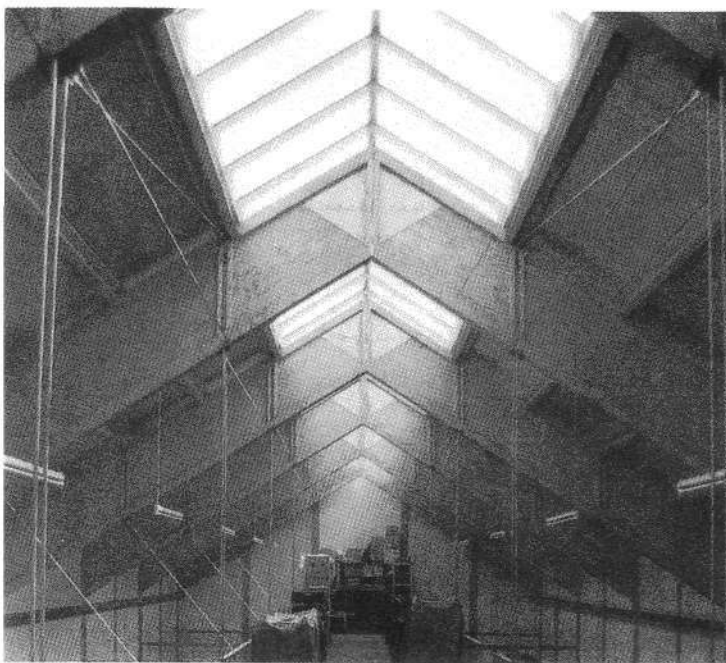
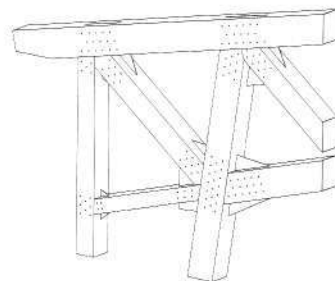
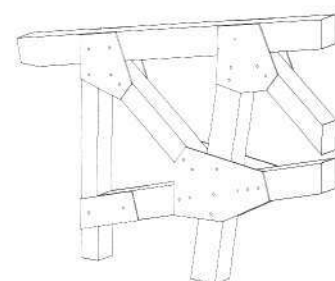
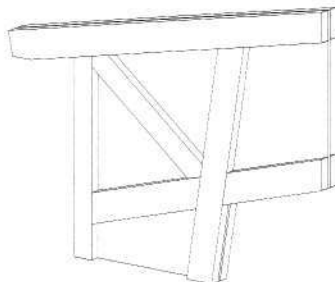
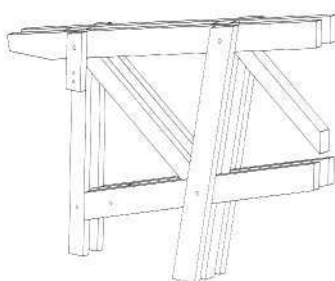
73 • Capannone

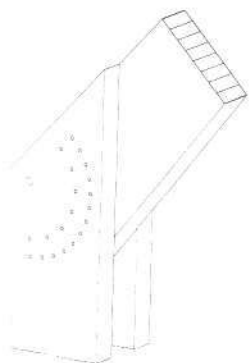
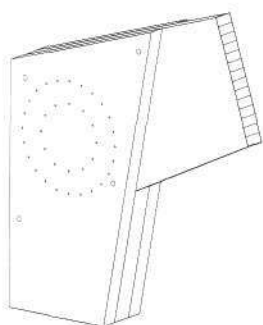
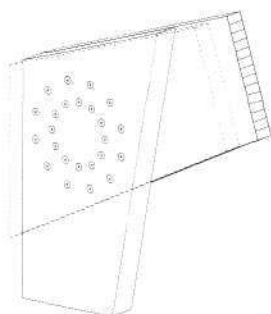
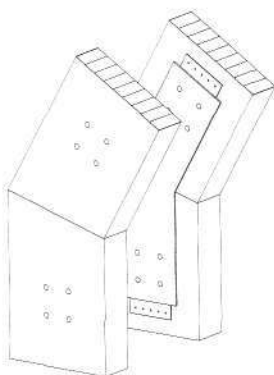
Weihenstephan, Germania; 1988

Architetti: Ufficio tecnico statale, Weihenstephan; H. Geierstanger

Ingegneri strutturisti:
Lintl & Siebenson, Monaco

Una costruzione in telai di legno con tirante forma il sistema portante principale del padiglione, che è illuminato da un lucernario nel colmo. I bordi del tetto molto sporgenti consentono di dare riparo alle mietitrici. Capriata e montanti sono eseguiti come travi ad anima in panneili di materiale derivato dal legno. La stabilità trasversale è garantita dal telaio con ritti incastrati. Il tirante posto in profondità a causa della passerella sospesa attraversa i montanti principali ed è fissato alla sporgenza. Le connessioni sono effettuate tramite piastre chiodate, che per mezzo di rinforzi cedono le tensioni a un collegamento bullone-coprigiunto di acciaio. Le diagonali di acciaio assicurano l'irrigidimento delle capriate e il fissaggio laterale dell'ala. Arcarecci in lamellare a T supportano il rivestimento del tetto composto da pannelli in materiale derivato dal legno, I carichi orizzontali in direzione longitudinale vengono ceduti nel piano della facciata da croci di sant'Andrea.

Rappresentazione senza copertura del tetto

Nodi di telaio rigidi

con lamiere nodali intagliate

con coprigiunti chiodati lateralmente

trave ad anima, incollata, chiodata o incollata a pressione e rinforzata da chiodi

composta con bulloni e connettori ad anello o a disco dentato

Nodi di telaio rigidi con sezioni composte

con spine disposte a semicerchio

con cerchio di spine

con connettori ad anello disposti a cerchio

con connessioni mediante perni

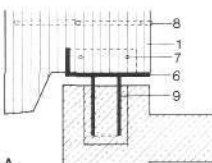
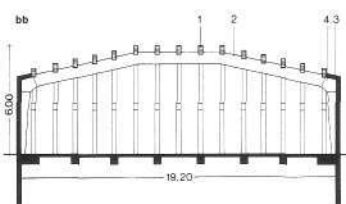
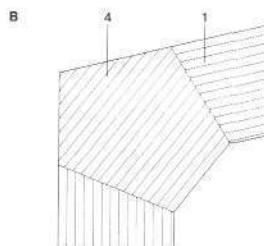
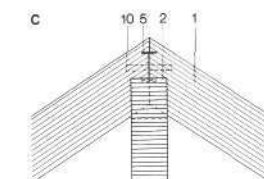
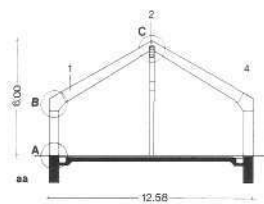
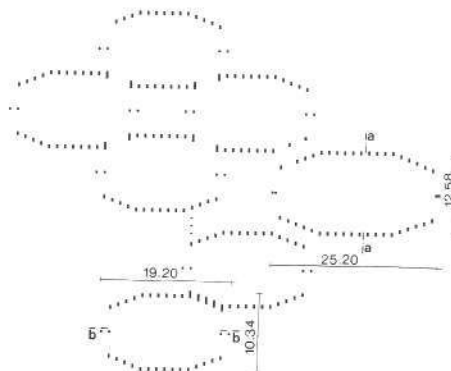
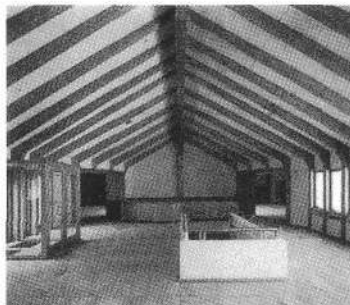
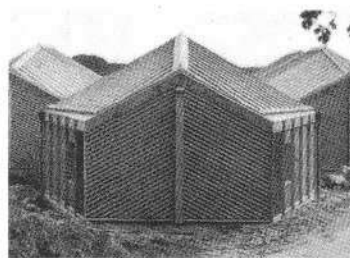
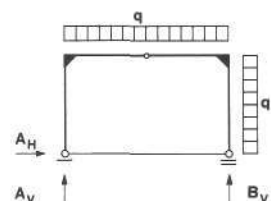
74 • Museo vichingo Haithabu

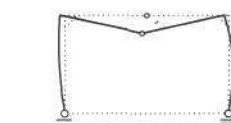
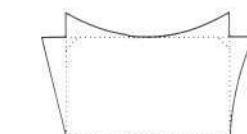
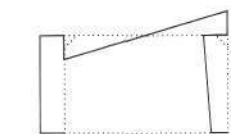
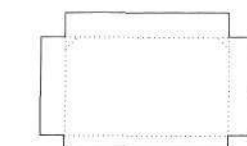
Schleswig, Germania; 1982-83

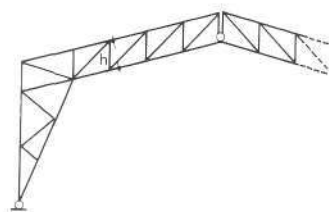
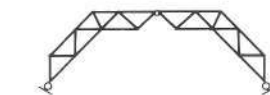
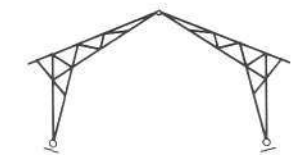
Architetti; Ufficio centrale di progettazione, Kiel

Ingegnere strutturista: H. Mohn, Kiel

Capriata a telaio con tre cerniere in lamellare incollato da 25/50 cm o 25/55 cm, interasse 1,20 m. Luci 10,80 m o 12,96 m. Altezza colmo 6,20 m o 7,50 m. Realizzazione con nodi di telaio con incastri a coda di rondine ed elemento intermedio. Collegamento della cerniera di colmo: profilo HEB 200 con coprigiunto in acciaio sui due lati. Base: staffa di acciaio con ala centrale. Ancoraggio nelle fondamenta con profilo HEB 100 saldato. Travi di colmo in lamellare da 25/70 cm non previste per l'assorbimento di carichi. Irrigidimento della struttura a nido d'ape per mezzo di lastre a timpano in cemento armato. Tamponamento tra la costruzione di legno portante in elementi di legno prefabbricati.

1 Trave dell'ossatura a tre cerniere
2 Trave di colmo
3 Lastre a timpano in cemento armato
4 Nodi di telaio con incastro a coda di rondine
5 Profilo HEB 200
6 Staffa di acciaio con ala centrale
7 Spina ∅ 12
8 Perni filettati M 16
9 Profilo HEB 100
10 Coprigiunti di acciaio su entrambi i lati

Telai a tre cerniere con tirante

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito
carico orizzontale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale

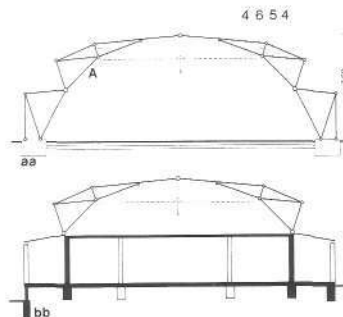
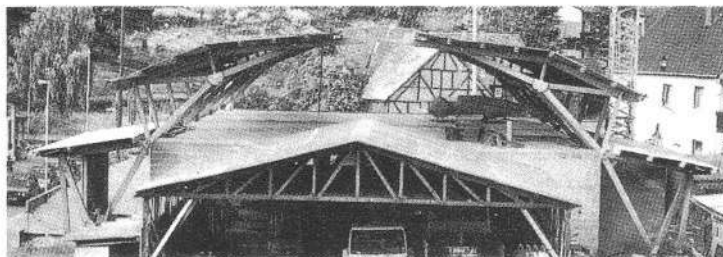
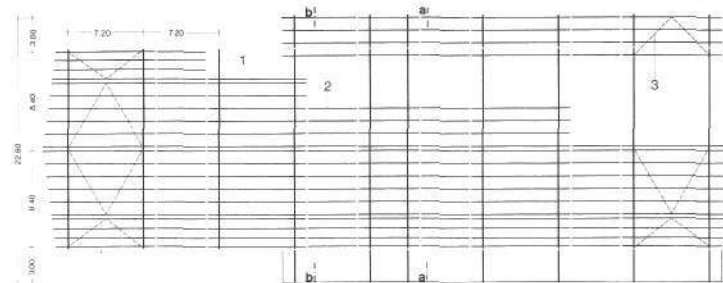
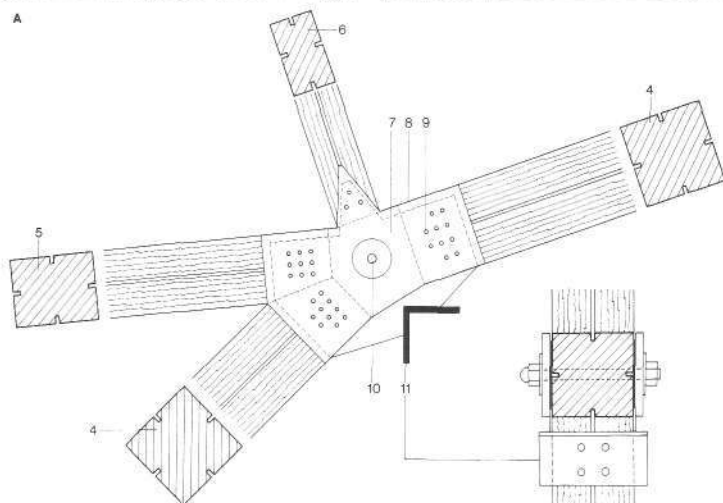
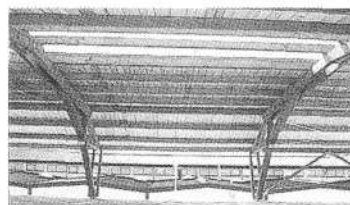
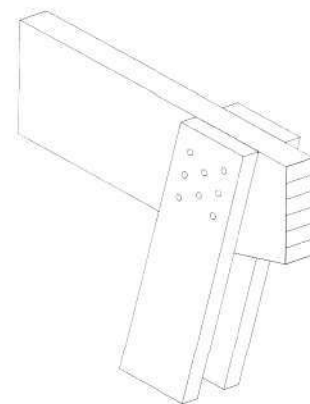
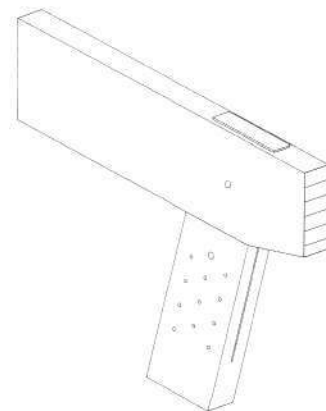
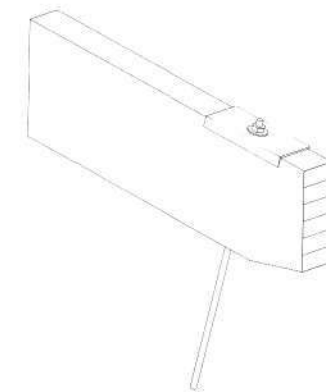
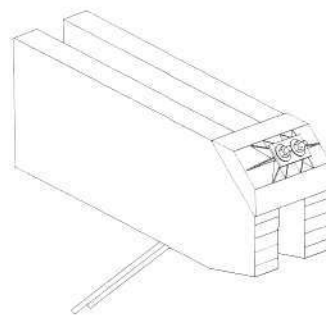
Sistema reticolare

Traliccio
$a = 7\text{-}10$ m
$h = \frac{l}{8} - \frac{l}{18}$
$l = 15\text{-}50$ m

75 • Capannone

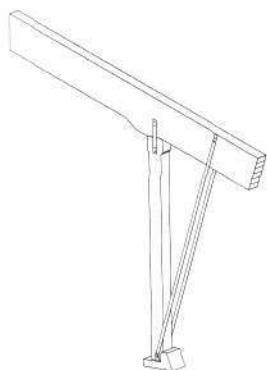
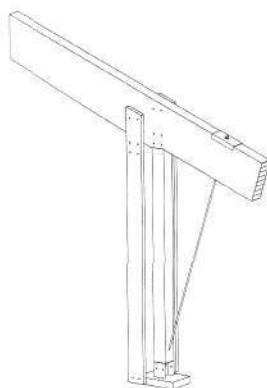
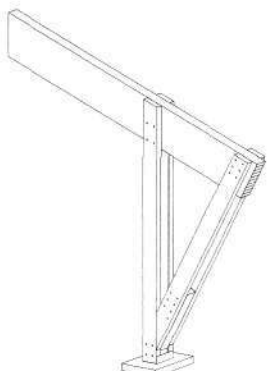
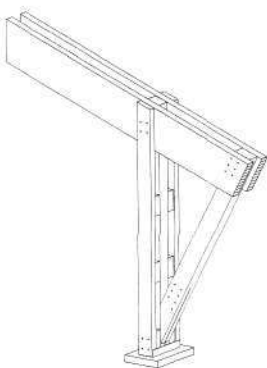
Leidersbach, Germania; 1990

Progetto e struttura portante: M. Volz, Monaco

Il telaio a tre cerniere di tipo reticolare su una delle metà della lunghezza dell'edificio presenta una sottostruttura in muratura e sull'altra metà una sottostruttura a traliccio. I telai sono posti a distanza di 7,20 m e sostengono travi Gerber con tavolato di legno e impermeabilizzazione del tetto. Assorbimento delle forze orizzontali con diagonali di legno squadrato sul piano superiore davanti alla facciata e sul piano inferiore nella facciata. La costruzione portante soddisfa i requisiti F 30, tutti gli elementi portanti sono in legno massello, sezione massima 22/22. Le connessioni sono in gran parte realizzate mediante piastre di lamiera chiodate e coperture di compensato (F 30), mentre nei nodi sottoposti a tensioni più elevate sono impiegati anche bulloni e connettori speciali.

aa

bb

1 Telaio
2 Trave Gerber
3 Irrigidimento
4 Legno di conifere 22/22
5 Legno di conifere 18/22
6 Legno di conifere 12/22
7 Nucleo di compensato di faggio
8 Lastre di compensato
9 Chiodi scanalati 6,0/80
10 Bullone M 20
11 Adattatore per rotaia della gru

Connessione puntone esterno-traverso

Puntone a tenaglia

Lamiera intagliata con piattabanda, connessione tramite spine

in tondo di acciaio con piastra di base

Traverso allargato e aste di trazione interne

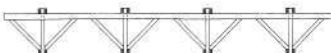
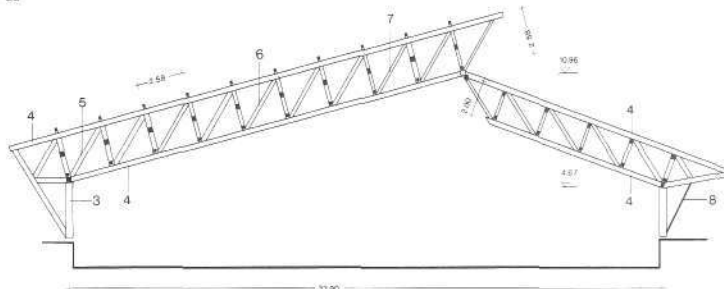
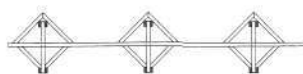
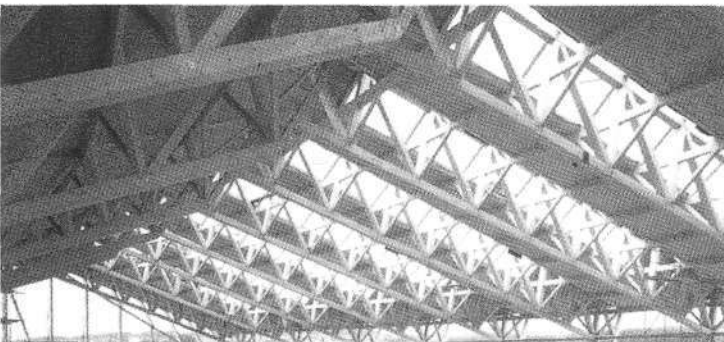
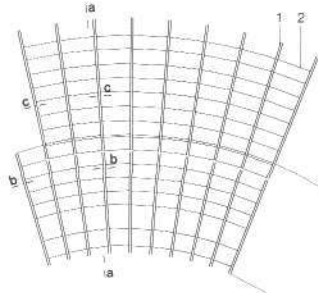
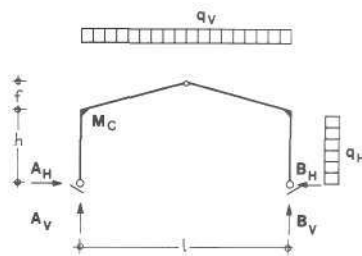
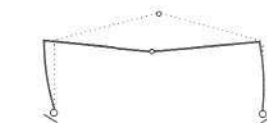
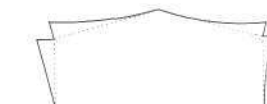
Ritti di telaio liberi

Montante semplice con tiranti in acciaio piatto

Montante composto con tiranti in acciaio tondo

Montante in tre parti con puntone a tenaglia

Traverso doppio, montante in tre parti, puntone semplice

76 • Palestra

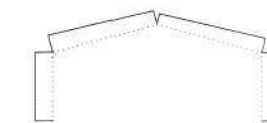
Donauwòrth, Germania; 1984-85

Architetti: Wachter e Meier, Monaco

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterer e Dittrich, Monaco

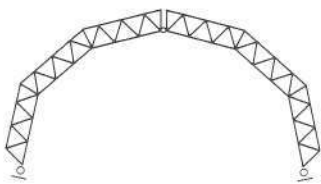
I telai a tre cerniere della palestra, disposti radialmente, sono eseguiti come travi reticolari. La cerniera di colmo si trova all'incirca a un terzo. La metà inferiore dei telai più piccoli ha un'altezza di 2 m, con i correnti superiori situati su! piano del tetto, mentre quella più grande ha un'altezza di 2,60 m e forma con il corrente superiore la linea di colmo per i lucernari di tipo *shed.* Correnti, puntoni e diagonali della struttura reticolare sono composti da travi lamellari larghe 26 cm, collegate ai nodi con due piastre di lamiera intagliate e incavicchiate. Le travi secondarie collegano i puntoni reticolari nella direzione longitudinale del padiglione. I contraffissi e i puntoni degli *shed* ne riducono la luce e stabilizzano i correnti delle travi principali. In direzione della pendenza del tetto sono posti travetti che ne supportano l'assito. La stabilizzazione in direzione trasversale avviene tramite telai a tre cerniere, in direzione longitudinale tramite la lastra dei tetto e gli elementi verticali posti tra i montanti della facciata.

1 Trave principale
2 Trave secondaria
3 Montante 40/28
4 26/28
5 26/26
6 20/26
7 16/26
8 Tondo di acciaio 52 2 × Ø 76 mm

Telai a tre cerniere con traversi obliqui

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito
carico orizzontale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

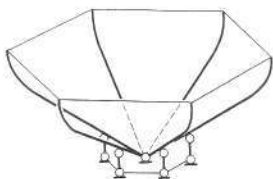
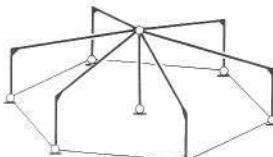
$$M_C = -\frac{q_V\, l^2 \cdot h}{8\,(h+f)}$$

Sforzo di taglio

Sforzo normale

Aste a disposizione poligonale

ad anima piena, rampanti

ad anima piena, simmetriche

reticolari, simmetriche

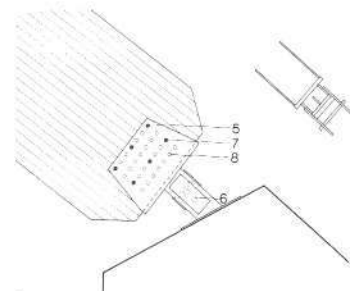
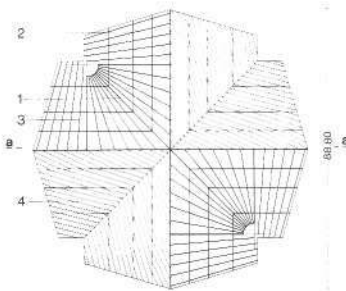
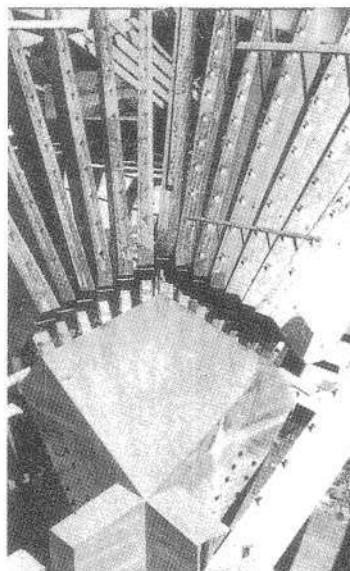
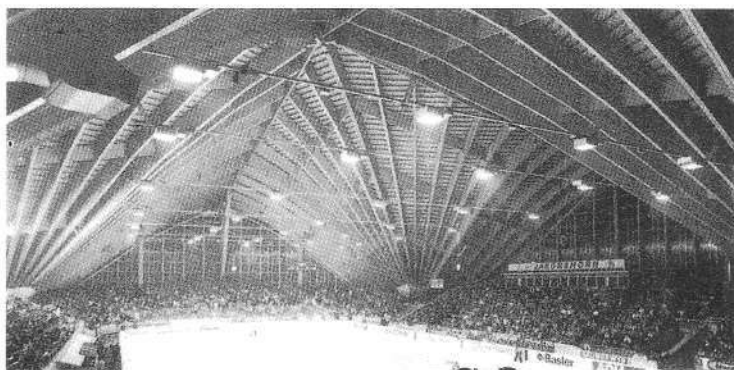
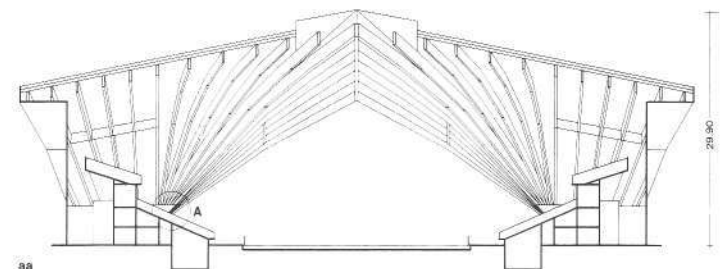
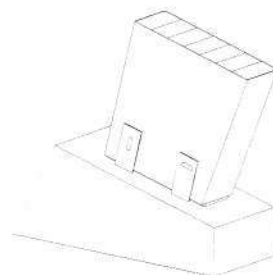
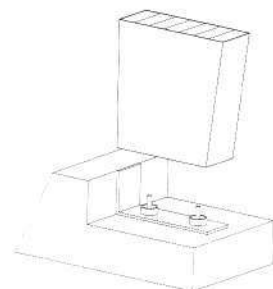
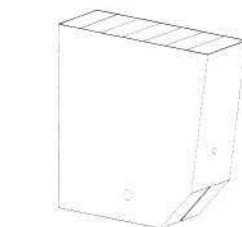
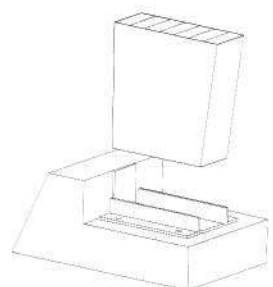
Disposizione radiale

con tirante posto superiormente

con montante centrale

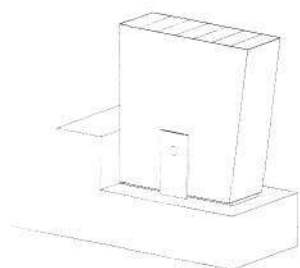
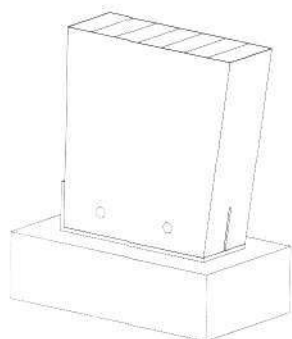
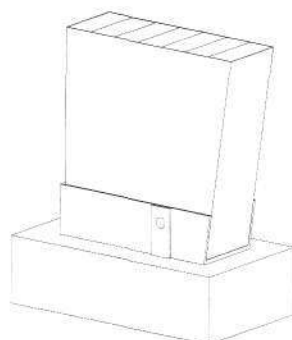
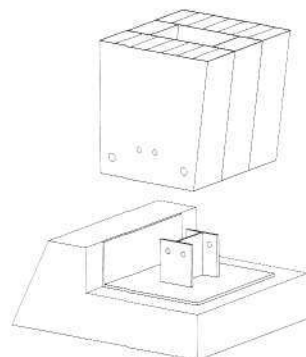
77 • Palazzetto del ghiaccio

Davos, Svizzera; 1979

Architetto: Krähenbühl, Davos

Ingegnere strutturista: W. Bieler, Coira

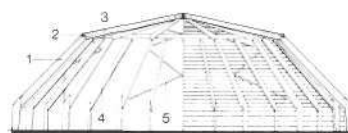
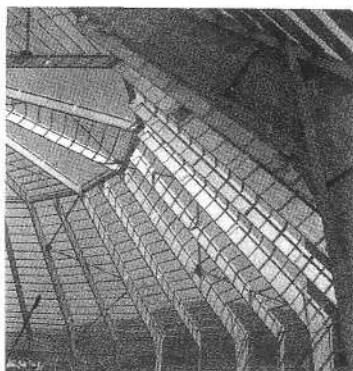
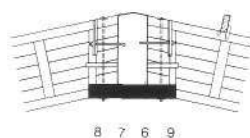
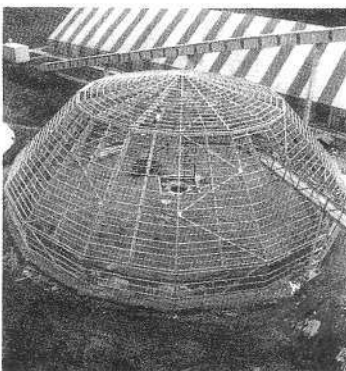
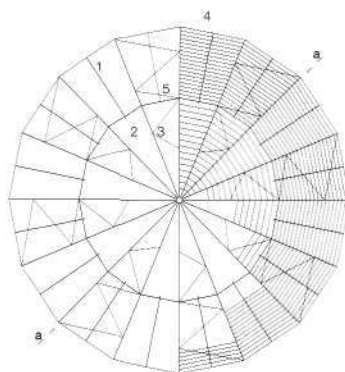
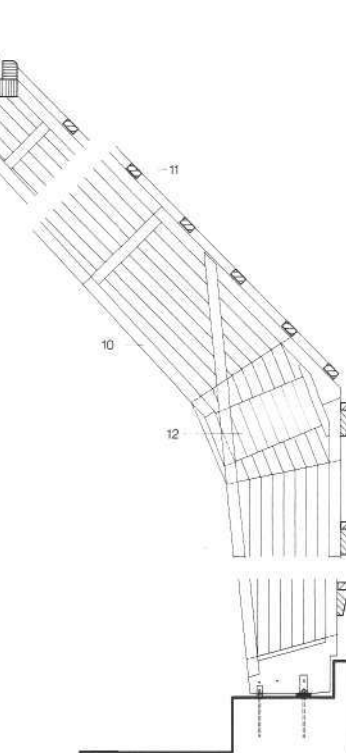
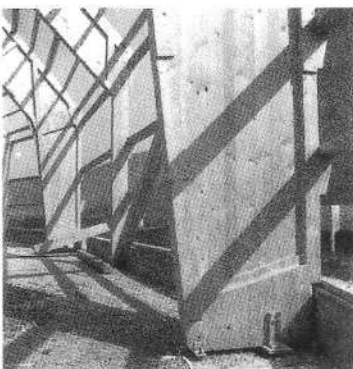
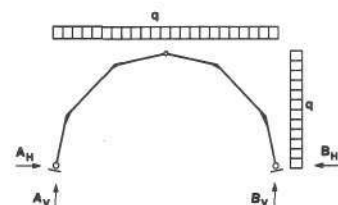
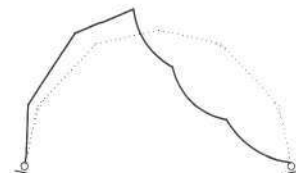
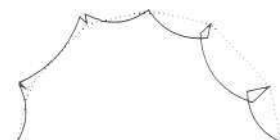
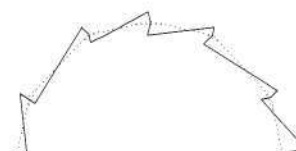
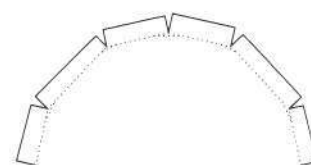
Sistema ad arco a tre cerniere nello spazio che copre il palazzetto del ghiaccio da 7500 posti. La catena estesa in diagonale per 75,6 m, composta da travi gemelle in lamellare, e le capriate di facciata formano insieme alla croce di colmo il sistema portante principale. Gli archi a ventaglio sono collegati attraverso la croce di colmo. Irrigidimento paratie trasversali in lamellare. Arcarecci in legno massello. Tavolato diagonale composto da tavole spesse 40 mm per assorbimento della tensione del vento e della pressoflessione, nonché come sostegno della copertura del tetto. Ciclo di montaggio: installazione delle capriate a catena che si incrociano e della capriata di facciata, connessione tramite colmo a croce.

1 Capriata a catena 2 × 20/195
2 Capriata di colmo 20/191
3 Capriata intermedia da 2 × 14/135 a 2 × 16/168
4 Arcarecci
5 Piastra di acciaio 30-40 mm
6 Bullone ∅ 60 mm
7 Bullone ∅ 20 mm
8 Spina ∅ 20 mm

Appoggi di telai

con coprigiunti in acciaio incementati

con connettori ad anello sulla testata

con staffa di acciaio a intaglio

con piedritto di cemento e angolari

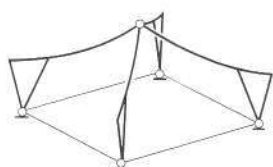
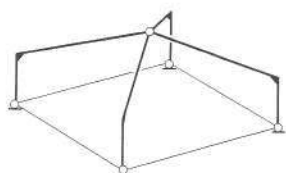
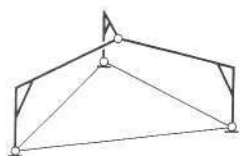
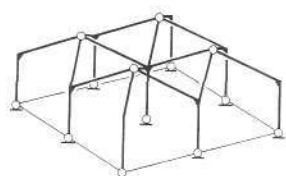
Appoggi di telaio

Piedritto in cemento
con coprigiunti in acciaio

con lamiera di acciaio a intaglio

con profilo a U

con profilo a I per sezione scatolare

78 • Padiglione per miscelazione del carbone

Rekingen, Svizzera; 1980

Ingegnere strutturista: G. Kämpf, Ruperswil

Padiglione industriate con un diametro esterno di 68 m e un'altezza totale di 23 m. Le linee di colmo delle faccette del tetto inclinate di 12° sono formate da capriate a tre cerniere. Le travi in lamellare collegate al colmo con una piastra nodaie incementata poggiano su una trave ad anello in lamellare. Le travi principali in lamellare della superficie del tetto inclinata di 45° agiscono da telai e poggiano contro te travi ad anello. Travi intermedie in lamellare fungono da travi a una campata che poggiano su montanti oscillanti e sulla trave ad anello. Arcarecci in legno massello sotto forma di travi continue a due campate (nel settore piano come travi a una campata) sostengono il rivestimento in Eternit. Una campata su due è formata da elementi diagonali come lastra per l'irrigidimento delle travi principali e la stabilizzazione dei carichi unilaterali.

1 Travi principali 22/120-160
2 Travi ad anello in lamellare 24/55 + 24/20
3 Trave di colmo 22/120
4 Trave intermedia 22/100

5 Irrigidimento 16/16
6 Spazio cavo incementato
7 Piastra nodale in acciaio d = 180 mm
8 Scanalatura per legno duro
9 Piastra di acciaio 30/200/20 mm
10 Corrente 8/15
11 Arcareccio 20/10
12 Rinforzo per nodi di telaio

Telaio a tre cerniere come sistema d'aste poligonale

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito
carico orizzontale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale

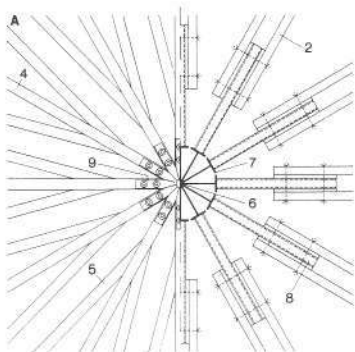
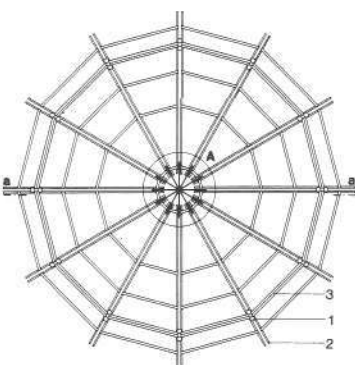
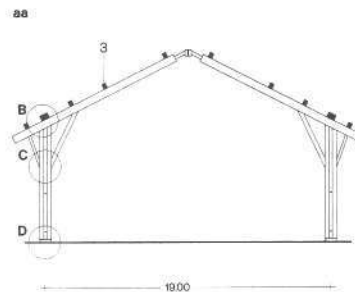
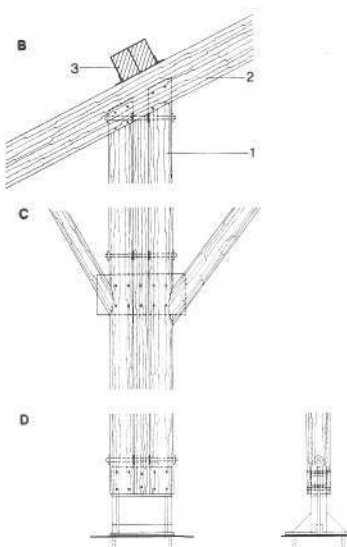
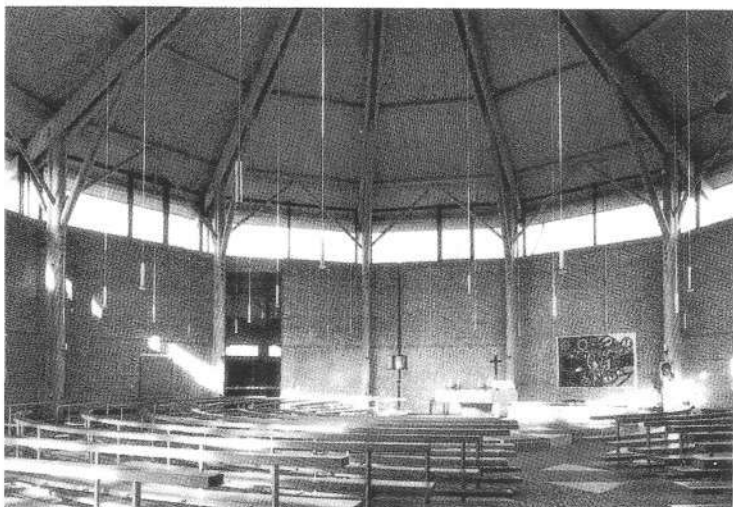
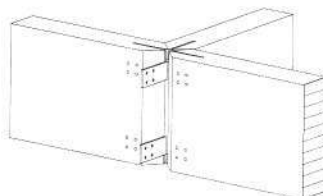
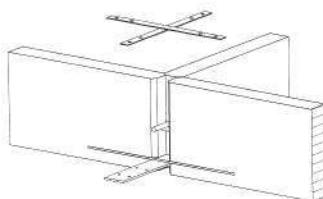
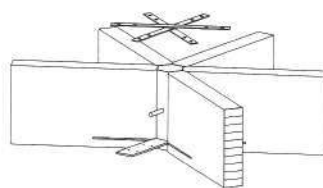
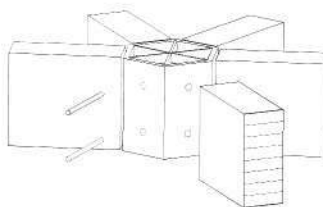
Sistemi ad anima piena

Disposizione simmetrico-radiale

Disposizione asimmetrica

Aggiunta di telai disposti radialmente

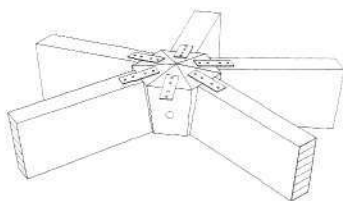
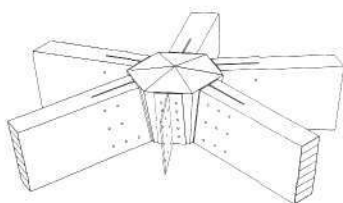
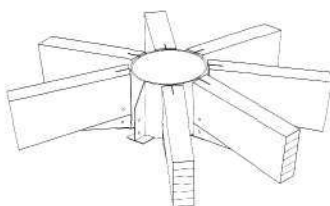
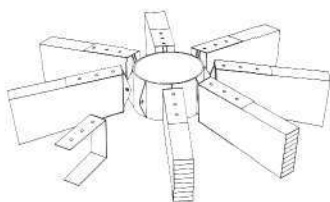
79 • Chiesa di St. Ignatius

Monaco-Kleinhadern, Germania; 1974-79

Architetti: J. Wiedemann, F. Christen, V. Westermayer, Monaco

Ingegnere strutturista: Chr. Michael, Monaco

Telai a tre cerniere disposti radialmente formano la costruzione del tetto di una chiesa dodecagonale con diametro di 22 m. I ritti del telaio sollecitati a flessione si compongono di montanti in legno tondo doppi dal diametro di 30 cm. Collegamento alle capriate a tenaglia in lamellare tramite puntoni in legno tondo su entrambi ì lati. Irrigidimento trasversale dei montanti tramite elementi a K in legno a sezione circolare. Connessione al colmo tramite anello di acciaio in profili IPE e tubi di acciaio. Gli arcarecci in legno massello disposti ad anello sostengono la strato di travetti radiale con travetti secondari collegati lateralmente. L'assito del tetto è collegato in modo alternato e posate con giunto aperto che assorbe il rumore. Stabilizzazione complessiva tramite effetto telaio nello spazio.

1 Montanti doppi, ognuno ∅ 30 cm
2 Capriata a tenaglia in lamellare 2 × 10/30
3 Arcareccio 25/35 cm
4 Travetto centrale
5 Travetto laterale
6 Tondo di acciaio ∅ 100 mm
7 IPE 500
8 Tubo di acciaio 220/120/10 mm
9 Barra di acciaio 370/60/8 mm

Punti di incrocio rigidi di telai a due cerniere, sezioni piene

Stella composta da coprigiunti in lamiera incavicchiati al tubo negli intagli della trave

Trasmissione:
sforzo di trazione con coprigiunti di lamiera incavicchiati
sforzo di compressione tramite riempimento di cemento
sforzo di taglio tramite caviglie

Dettaglio come sopra, trasmissione dello sforzo di compressione mediante nucleo in multistrato

Elemento in acciaio e perni filettati incollati

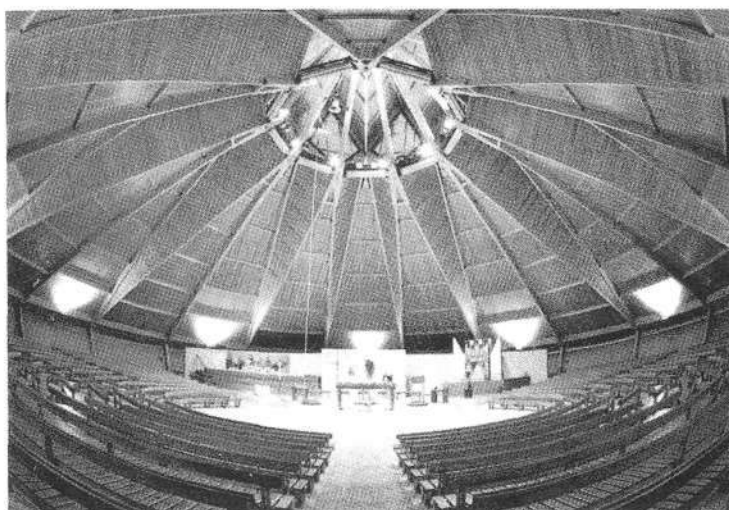
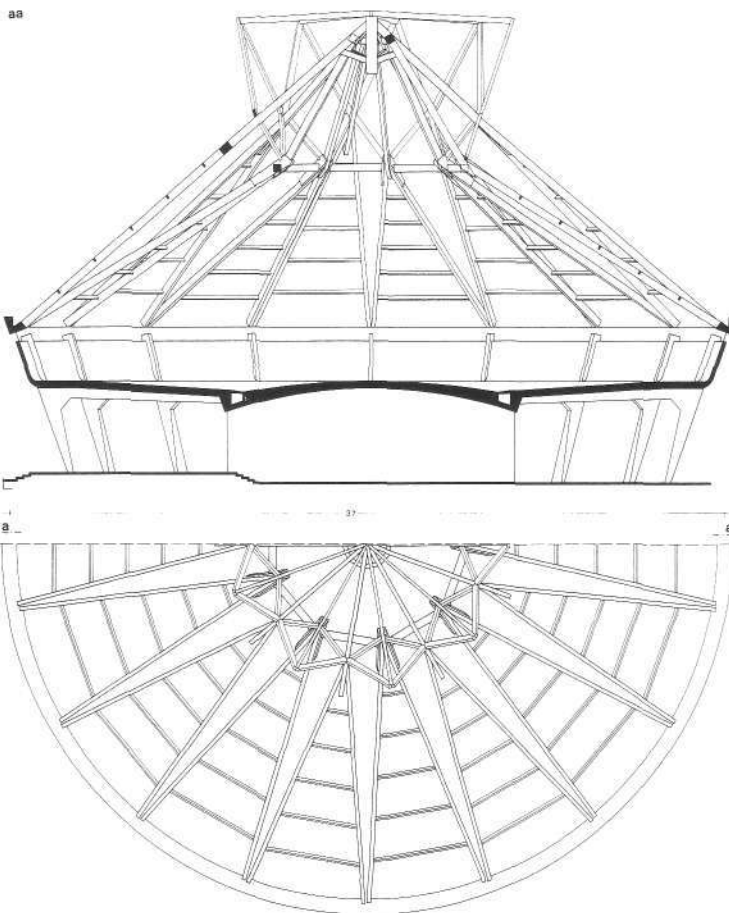
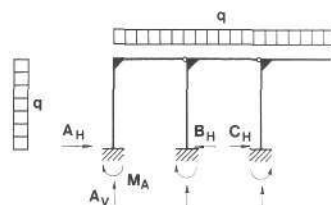
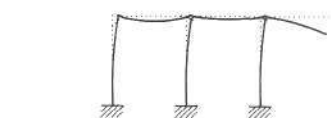
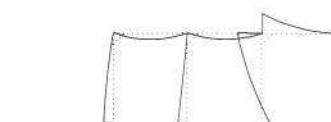
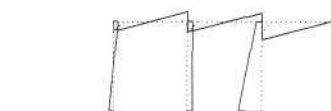
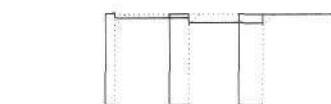
Punti di incrocio articolati di telaio a tre cerniere

Nucleo di legno duro *con perni filettati incollati*

Profilo a T intagliato e nucleo in legno duro

Anello di acciaio con ali e piastra di appoggio

Anello di acciaio con ali e profili a U avvitati

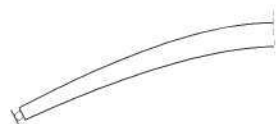
80 • Chiesa di St.-Jean

Grenoble. Francia; 1964

Architetto: Blanc

ingegneri strutturisti:
CTG, R. Sarger, J.R Batellier, Parigi

Un tetto corrugato copre il locale circolare della chiesa con un diametro di 37 m circa. Dagli appoggi poligonali di estremità si dipartono verso l'alto due travi in lamellare a formare faccette triangolari. All'altezza del punto di incrocio superiore delle capriate dì catena i puntoni di collegamento orizzontali costituiscono un anello compresso e consentono quindi l'effetto cupola. Arcarecci a una campata con andamento orizzontale sostengono l'assito del tetto e irrigidiscono le capriate. Il sistema di travi principale della parte centrale a stella è composto da un sistema di aste a tre cerniere neilo spazio, che poggia contro le capriate di catena e l'anello compresso. Le capriate centrali di colmo e di catena sono collegate in nodi centrali. La disposizione spaziale delle capriate stabilizza la costruzione in legno, che poggia su una base sottostante in cemento armato.

Telai continui

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito
carico orizzontale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale

Varianti di sistema

Sezioni a doppia T, scatolari e ad anima piena in legno incollato

a = 5-10 m

$h = \frac{l}{35} - \frac{l}{50}$

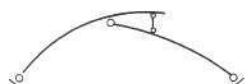
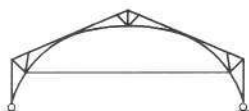
l = 30-100 m

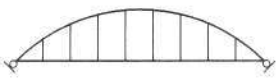
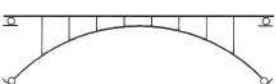
$f = \frac{l}{6} - \frac{l}{10}$

Sezione di arco di cerchio

Arco asimmetrico

poggiato su cavalletto

poggiato su cavalletto e con anelli circolari

Incastro al centro dell'arco con braccio di leva

con sezione libera e tirante

Trave ad arco per ponti

Corsia inferiore

Corsia superiore

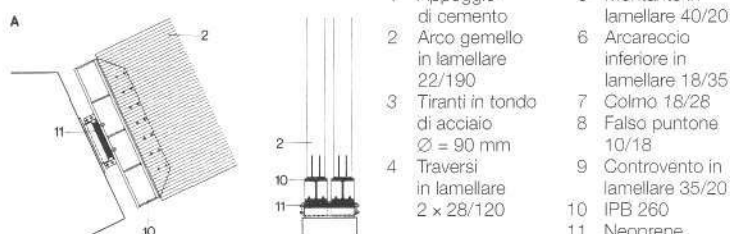
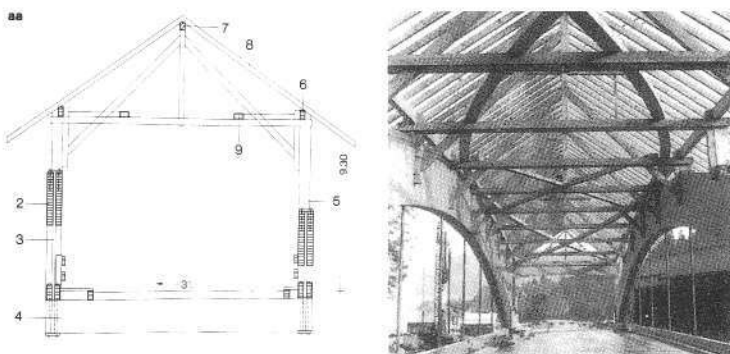
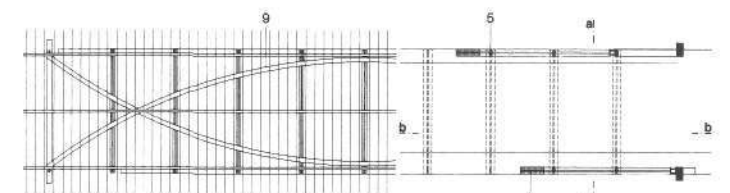
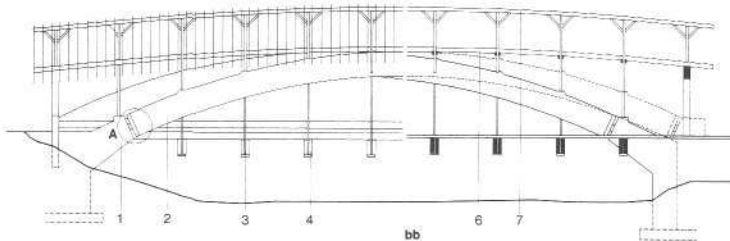
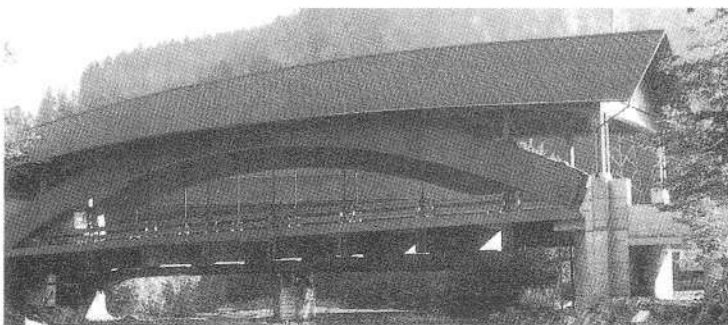
81 • Ponte sul fiume Emme

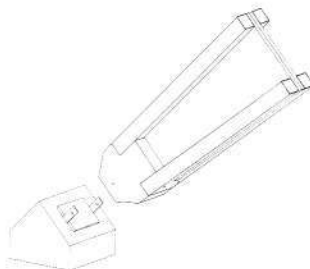
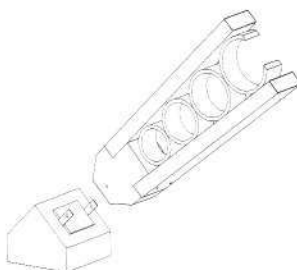
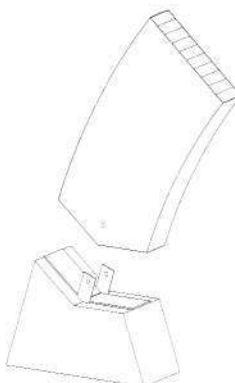
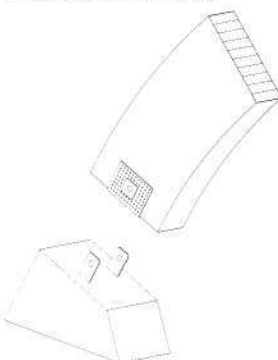
Signau, Berna, Svizzera: 1988

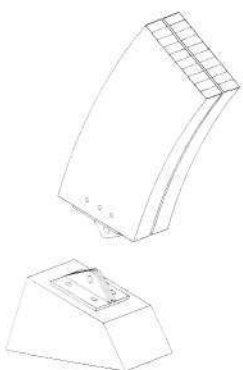
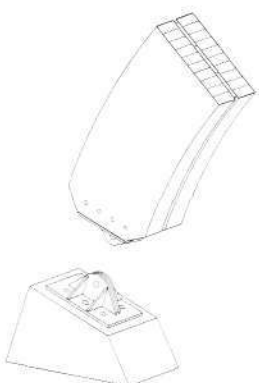
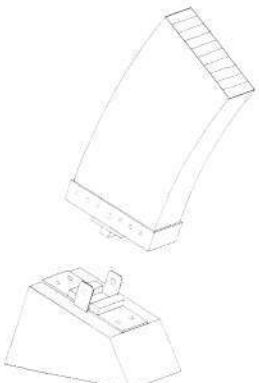
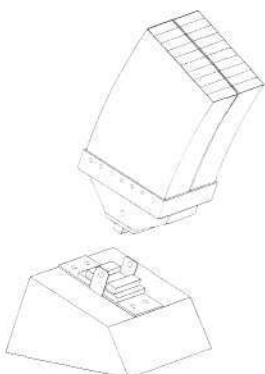
Architetti: Direzione edile cantonale, Burgdorf

Ingegnere strutturista: H. Vogel, Berna

Ponte in legno coperto con due corsie a pieno carico. Due archi gemellari in lamellare con luce di 43,40 m poggiano su piedritti di cemento. Corsia sospesa ogni 5 m tramite tiranti in tondo di acciaio e traversi in lamellare. Pannello della corsia in lamelle di legno spesse 22 cm, incollate e pretensionate trasversalmente.

Convogliamelo dello sforzo di pretensionamento per mezzo di travi di estremità in lamellare di faggio. Su di esse pellicola impermeabile e un rivestimento spesso 60 mm privo di giunzioni. Assorbimento della forza del vento da parte di pannelli di corsia e del controvento di irrigidimento superiore, che funge inoltre da irrigidimento per l'arce principale. I portali in lamellare con nodi incollati in compensato convogliano le tensioni dal controvento superiore agli appoggi. Costruzione del tetto in capriate di legno squadrato. Nella foto è visibile sullo sfondo il vecchio ponte di legno con appoggio al centro del fiume.

1 Appoggio di cemento
2 Arco gemello in lamellare 22/190
3 Tiranti in tondo di acciaio ∅ = 90 mm
4 Traversi in lamellare 2 × 28/120
5 Montante in lamellare 40/20
6 Arcareccio inferiore in lamellare 18/35
7 Colmo 18/28
8 Falso puntone 10/18
9 Controvento in lamellare 35/20
10 IPB 260
11 Neoprene

Punti di appoggio per archi

Trave ad anima con rinforzo dell'appoggio e coprigiunti laterali incementati

Trave ad anello con rinforzo dell'appoggio e coprigiunti laterali incementati

Trave in lamellare su appoggio elastomerico

con piastra chiodata e albero snodato

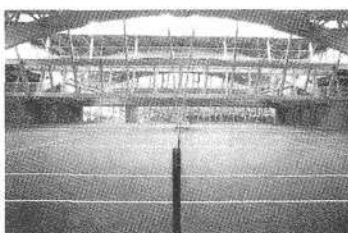
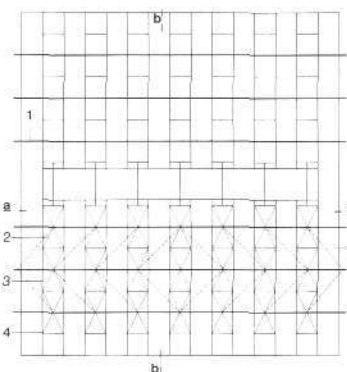
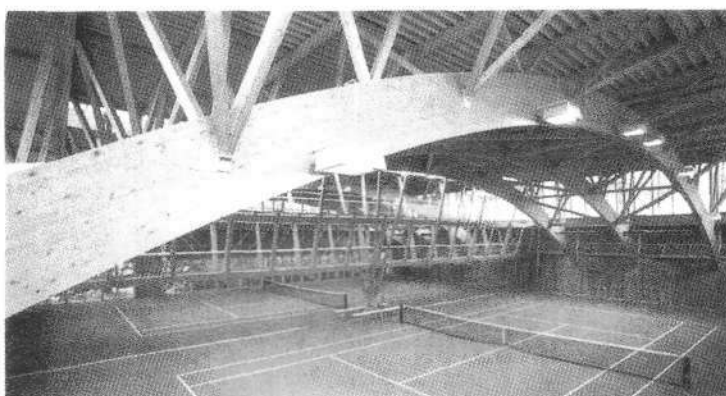
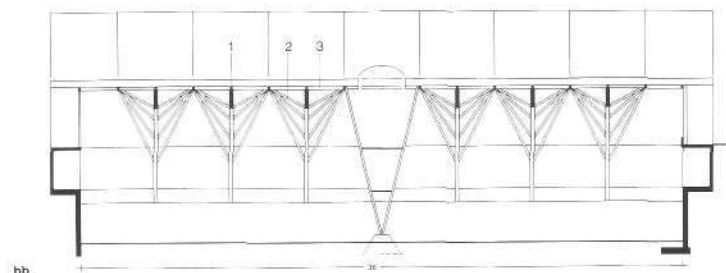
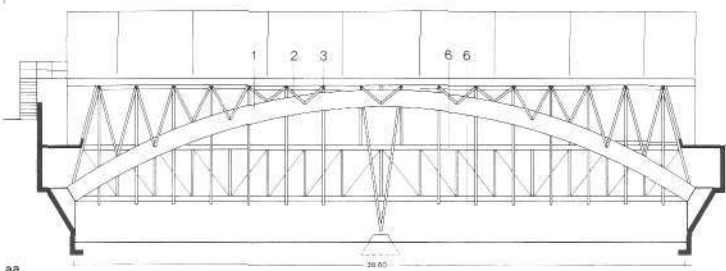
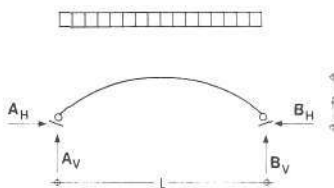
Punti di appoggio per archi

con piattabanda e albero articolato

con piattabanda
e irrigidimento trasversale

con piattabanda ed eccentrico laterali, fissaggio in posizione tramite coprigiunti incementati

Elemento di acciaio per trave gemella sottoposta a carichi elevati

82 • Campo da tennis coperto

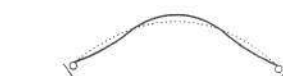
Bezau, Vorarlberg, Austria; 1989

Architetto: L. Kaufmann, Dornbirn, Austria

Ingegneri strutturisti:
Holzbauwerk Kaufmann, Bezau, Austria

lì tetto piano di due campi da tennis coperti è sostenuto da puntoni a V sulle capriate principali ad arco. Tre archi a due cerniere attraversano ognuno un campo di gioco in direzione longitudinale e poggiano a 2,5 m dal suolo contro i piedritti di cemento armato. Tra le due campate due travi reticolari inclinate reciprocamente sostengono una passerella e il tetto sovrastante con lucernario centrale. Correnti e montanti sono in lamellare, le diagonali ascendenti sono costituite da tiranti in acciaio. Gli appoggi intermedi sono formati da un doppio montante a V. Gli arcarecci continui disposti perpendicolarmente alle capriate sono supportati ogni 4,5 m da puntoni di legno allargati nello spazio. Elementi trasversali di legno collegano coppie di arcarecci all'appoggio per assorbire le tensioni orizzontali dei puntoni obliqui. Stabilizzazione del padiglione in direzione longitudinale tramite controventi disposti tra le capriate ad arco.

1 Capriata principale in lamellare 22/108
2 Puntone a V in lamellare 14/14
3 Arcareccio in lamellare 14/25
4 Rompitratta in lamellare 14/14
5 Controvento
6 Corrente superiore e inferiore, passerella

Arco a due cerniere

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito

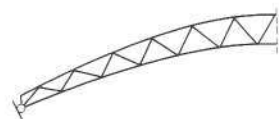
$$A_V = B_V = \frac{q \cdot l}{2}$$

$$A_H = B_H = \frac{q \cdot l^2}{8 f}$$

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale

Sistemi reticolari

Struttura reticolare in lamellare

$a = 5\text{-}10$ m

$h = \frac{l}{20} - \frac{l}{40}$

$l = 50\text{-}120$ m

$f = \frac{l}{5} - \frac{l}{8}$

Trave a falce con anelli di cerchio

con diagonali compresse

con diagonali tese

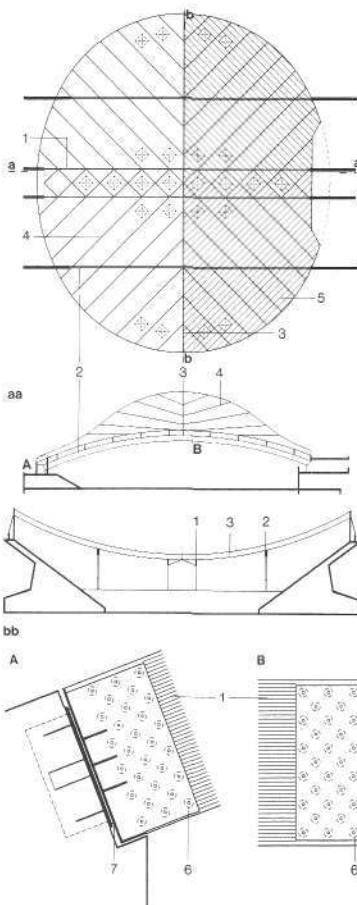
con diagonali compresse e tese

83 • Palazzetto dello sport

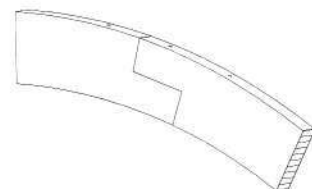
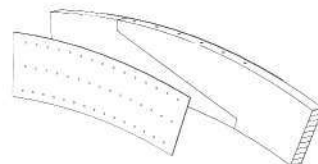
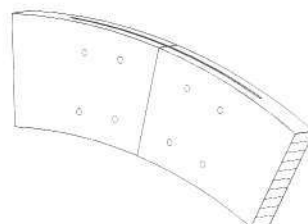
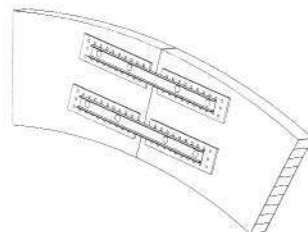
Limoges, Francia; 1981

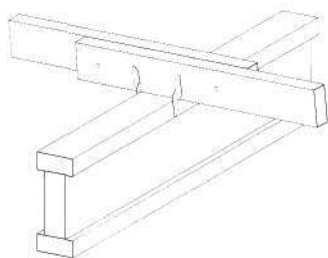
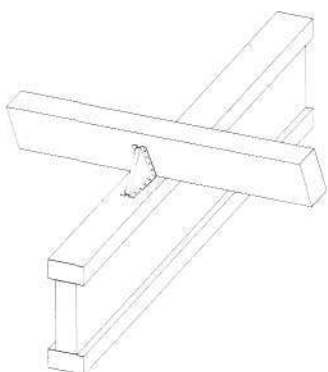
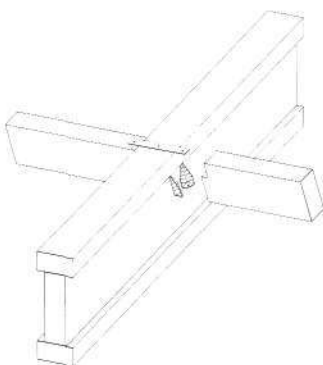
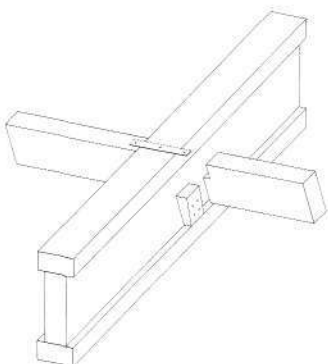
Architetti:
J.L. Marty, M. Rauby, Limoges

Ingegneri strutturisti: SITEC, Parigi

La pianta ellittica del palazzetto grande 4800 m^2 è coperta da una costruzione in legno a forma di paraboloide iperbolico. Quattro archi a due cerniere in lamellare a curvatura parabolica si estendono in direzione trasversale per 60 e 64 m. Sopra di essi è posta una capriata longitudinale a curvatura concava, che sostiene i carichi delle capriate secondarie collegate diagonalmente come travi continue su cinque campate. Le capriate secondane in lamellare ogni 4,71 m fungono da travi a una campata e, come gli arcarecci a una campata, proseguono rettilinee a distanza di 1,18 m in direzione della copertura. Pannelli pressati piani sostengono lo strato isolante. L'irrigidimento delle capriate principali e secondarie avviene tramite rinforzo con tensori in tondo di acciaio o in legno massello applicati su entrambi lati. Stabilizzazione complessiva tramite la disposizione diagonale delle travi principali e l'effetto lastra dei pannelli del solaio.

1 Trave principale in lamellare 18,5/130
2 Trave principale in lamellare 2 × 32/140

3 Trave longitudinale in lamellare 16/125
4 Trave secondaria in lamellare 13,5/120
5 Arcareccio in lamellare 7/22
6 Connettore a disco dentato
7 Piastra di ancoraggio 380/900/15

Giunti di montaggio rigidi

Incastro e perni filettati incollati

Incastro e coprigiunti laterali

Lamiera intagliata e connessione con spine

Lastre chiodate con coprigiunti in profili a U e alberi snodati

Connessione di arcareccio e trave a I adatta anche per archi

in caso di pendenza ridotta del tetto, collegamento con fissaggi di arcarecci

Angolare con nervatura di rinforzo

con staffa triangolare e coprigiunto teso

con fissaggio a mensola e coprigiunto teso

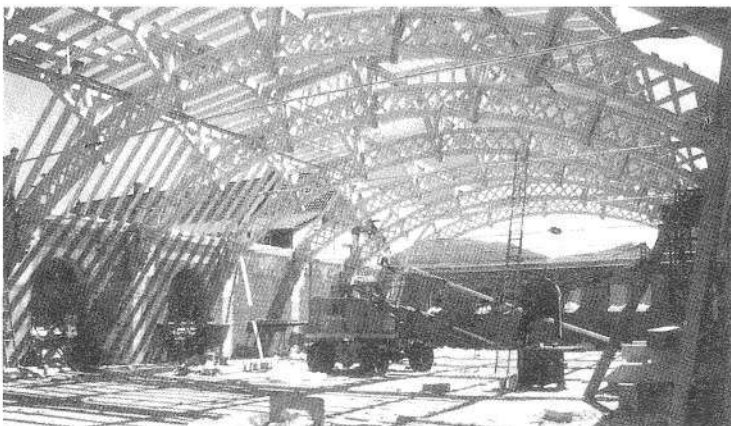
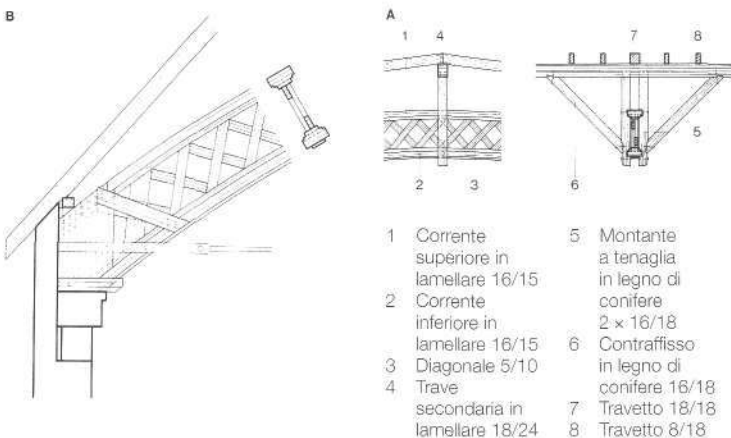
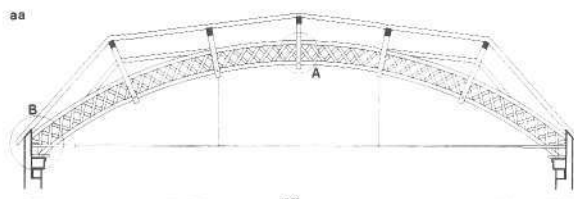
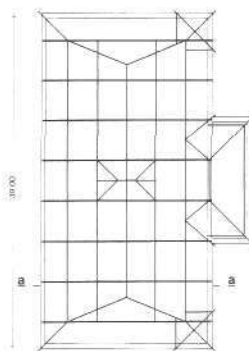
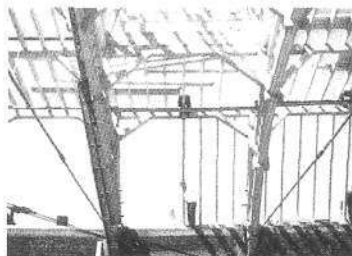
84 • Salone delle feste

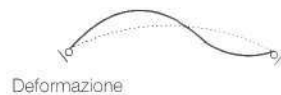
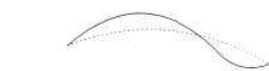
Gersfeld. Germania; 1987-88

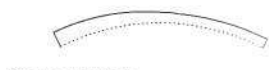
Architetti:
Associazione di architetti H. Fùller

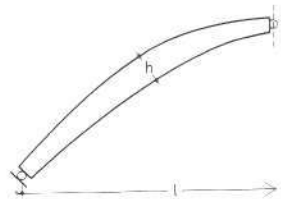
Ingegnere strutturista: R. Schnabel

Il padiglione considerato monumento nazionale venne costruito nel 1907 come maneggio coperto. Esso era eseguito come costruzione in lamellare chiodata. Ricostruzione fedele ai dettagli con osservanza delle normative attuali, impiegando lamellare incollato.
Le travi reticolari fungenti da archi a due cerniere sono tese all'altezza dell'appoggio tramite un tirante in acciaio per compensare lo scorrimento orizzontale. Le travi secondarie con andamento in senso longitudinale del padiglione hanno contraffissi per la stabilizzazione degli archi. Esse sono sostenute da montanti a pinza in modo da formare il tetto piegato. Sopra di esse lo strato dì travetti sostiene un tavolato in legno per l'irrigidimento del piano del tetto, I carichi orizzontali vengono convogliati dalla muratura nelle fondamenta.

1 Corrente superiore in lamellare 16/15
2 Corrente inferiore in lamellare 16/15
3 Diagonale 5/10
4 Trave secondaria in lamellare 18/24
5 Montante a tenaglia in legno di conifere 2 × 16/18
6 Contraffisso in legno di conifere 16/18
7 Travetto 18/18
8 Travetto 8/18

Archi a due cerniere

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito
carico orizzontale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale

Varianti di sistema

a = 4-6 m

$h = \frac{l}{30} - \frac{l}{50}$

l = 30-100 m

$f = \frac{l}{5} - \frac{l}{7}$

Forma di base
Linea di supporto per carico uniformemente distribuito
Parabola di secondo ordine

Arco iperbolico con aggetti

Disposizione asimmetrica con quote di appoggio diverse

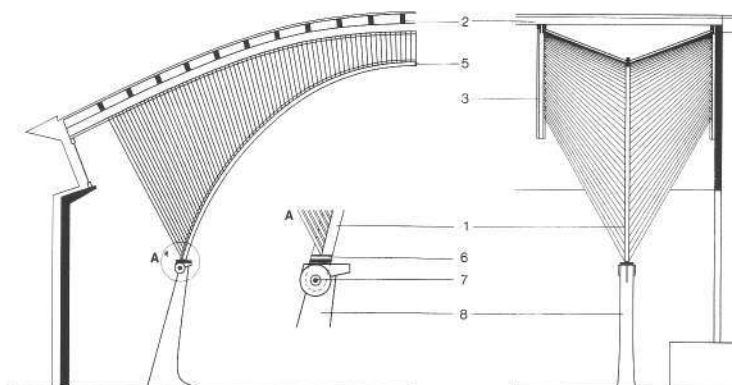
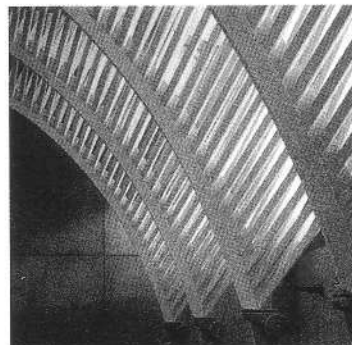
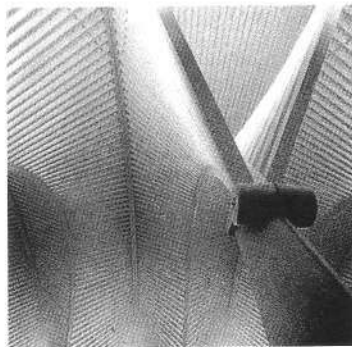
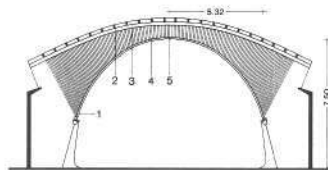
Sistema di archi continui

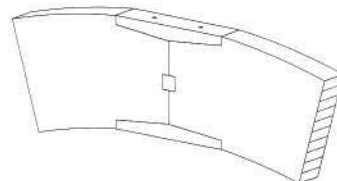
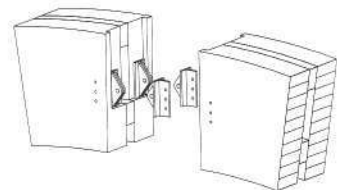
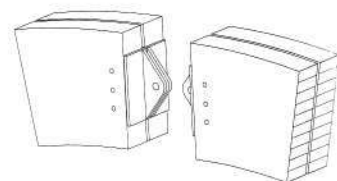
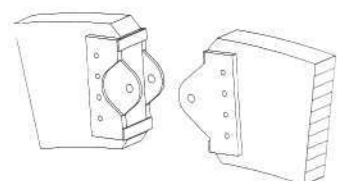
85 • Aula magna

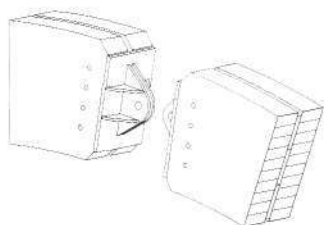
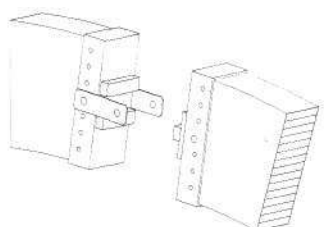
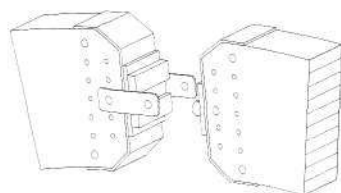
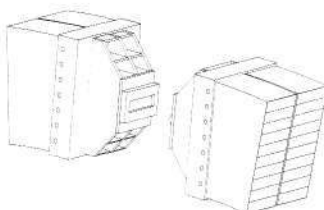
Wohlen, Argovia, Svizzera; 1987

Architetti: Burkhard, Meyer, Steiger, Baden, Svizzera

ingegnere strutturista: S. Calatrava, Zurigo

Una struttura portante corrugata a curvatura sferica copre il padiglione polivalente con dimensioni 15,65 x 20,04 m. Ognuno dei dieci elementi scatolari è stato preparato in officina ed è composto da un corrente inferiore a T in lamellare, da un corrente superiore eseguito in due parti per motivi di montaggio con sezione a L e da lastre corrugate, che formano dei puntoni. Lastre collegate ai correnti per mezzo di viti e tasselli coperti. Con lunghezza crescente la sezione trasversale nell'asse longitudinale è ulteriormente irrigidita con perni filettati nella zona dell'appoggio. Nel piano del corrente superiore travi longitudinali in lamellare, controsoffitto e assito del tetto compongono la sottostruttura per la copertura del tetto ventilata e isolata. Stabilizzazione degli archi compressi della struttura corrugata per mezzo di puntoni ed effetto lastra dell'assito del tetto.

1 Arco ellittico a tre cerniere
2 Trave longitudinale
3 Arco trasversale doppio
4 Puntoni
5 Cerniera in chiave
6 Piastra di acciaio
7 Perno di cerniera
8 Zoccolo di cemento

Cerniere di colmo

Trasmissione dello sforzo di taglio per mezzo di tasselli di legno duro, fissaggio tramite coprigiunti applicati sopra e sotto

Profilo a T intagliato con ali e perni di cerniera

Coprigiunto incavicchiato con piastra di testa. Ali e perni di cerniera

Coprigiunti laterali con perni di cerniera

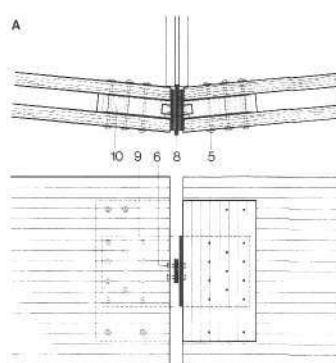
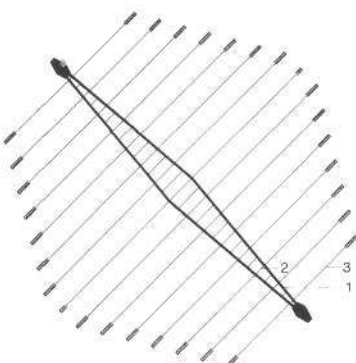
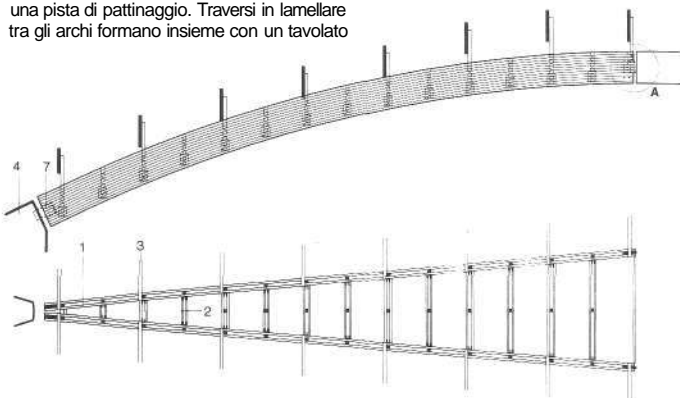
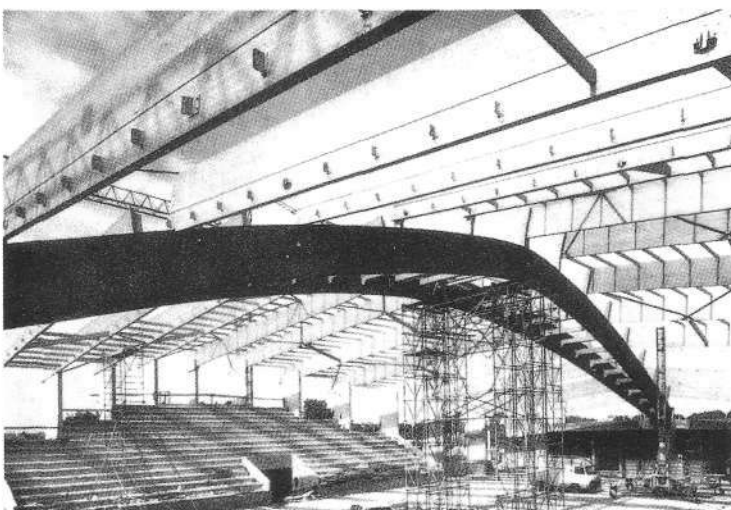
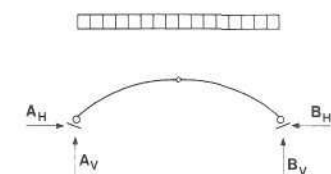
Cerniere di colmo

Coprigiunto in acciaio incavicchiato con piattabanda, anima rinforzata e perni di cerniera

Piattabanda con eccentrico e coprigiunti di fissaggio laterali

Piattabanda rinforzata con eccentrico e coprigiunti di fissaggio laterali

Esecuzione per trave gemella sottoposta a carichi elevati

86 • Pista coperta di pattinaggio su ghiaccio

Istres, Francia; 1981

Architetti: Jaussaud & Vallières, Istre

Ingegnere strutturista:
R. Weisrock, S.A.. Saulcy-sur-Meurthe

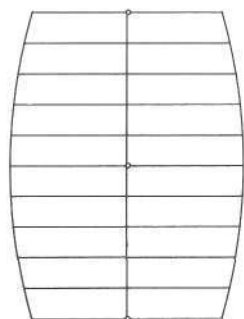
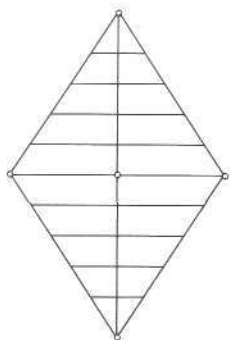
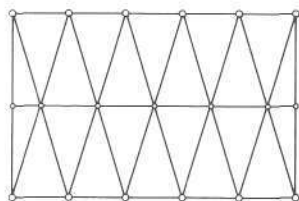
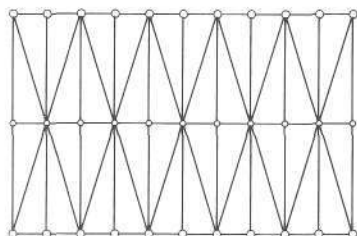
Due archi a tre cerniere reciprocamente allargati e composti da sezioni in lamellare doppie alte 1,6 m si estendono diagonalmente con una luce di 59,2 m sopra una pista di pattinaggio. Traversi in lamellare tra gli archi formano insieme con un tavolato di legno l'irrigidimento da pressoflessione. Travi secondarie a una campata sono collocate a intervalli di 4,10 m sull'arco e creano un lucernario all'altezza del traverso. Nel settore della facciata essi poggiano su lastre di cemento.
La stabilizzazione delle travi secondarie avviene per mezzo di diagonali in lamellare e tubo di acciaio. Arcarecci in legno massello sostengono l'assito del tetto. Stabilizzazione complessiva in direzione longitudinale mediante gli archi principali, in direzione trasversale tramite montanti perimetrali di cemento.

1 Trave doppia in lamellare 11/160
2 Traverso in lamellare 11/50
3 Trave secondaria in lamellare 16/126-160
4 Lastra di cemento
5 Bulloni Ø 20
6 Bulloni Ø 26
7 Staffa di acciaio
8 Piastra di acciaio s = 4 mm
9 Profilo a U 200
10 Distanziale in lamellare 16/20

Archi a tre cerniere

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale

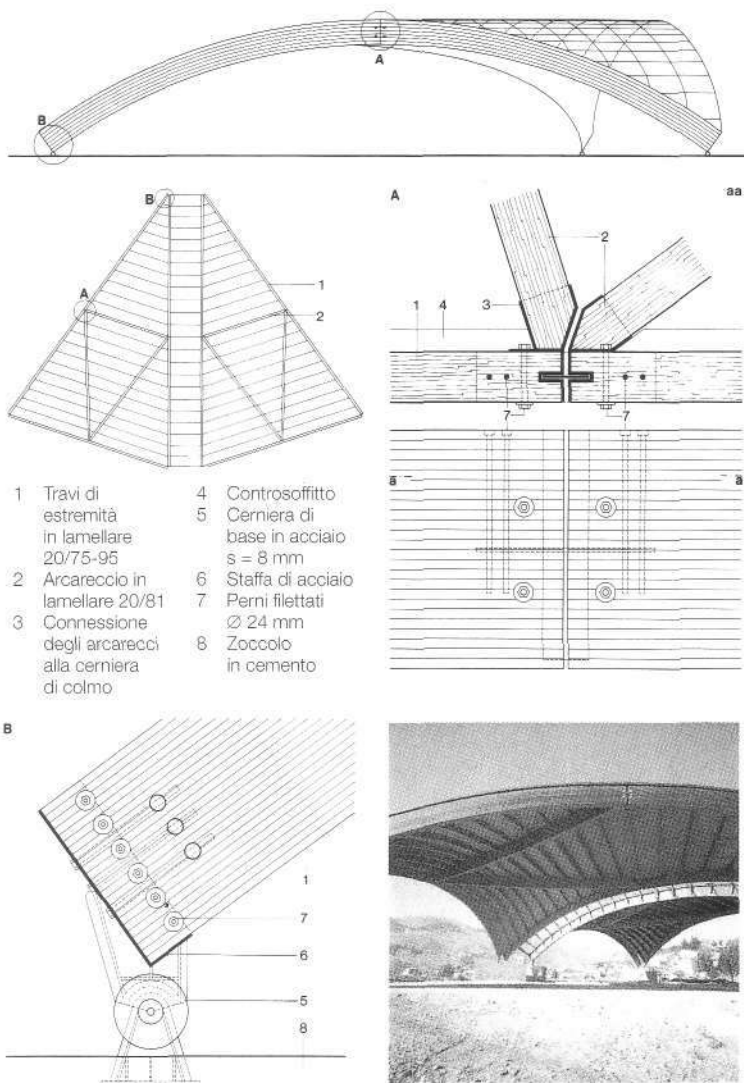
Varianti di disposizione in pianta

Sistema portante primario longitudinale, sistema portante secondario trasversale

Disposizione incrociata

Disposizione combinata

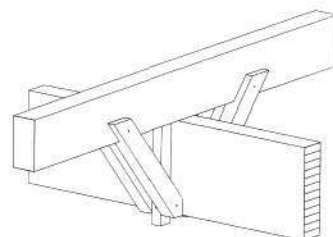
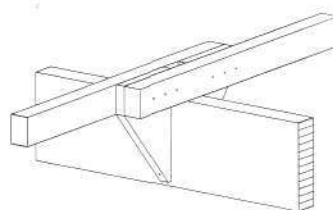
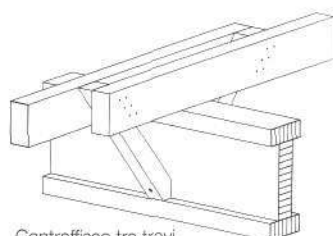
87 • Padiglione

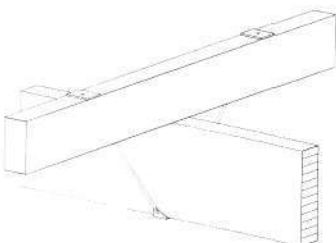
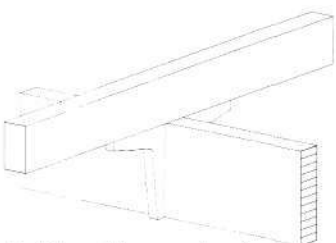
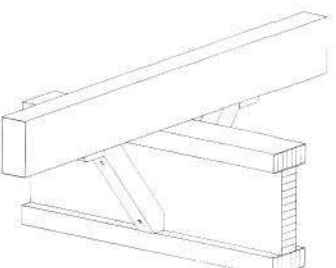
Stia, Arezzo; 1984

Architetto: Lucernario

Ingegneri strutturisti:
Studio tecnico Cenci Otsuka

il padiglione di un complesso termale è coperto da due volte nervate simmetriche, che sono caricate su cerniere in tre punti. Ogni segmento della sfera è racchiuso da archi a segmenti a tre cerniere in lamellare. Le cerniere di colmo sono collegate tramite travi secondarie ricurve. Gli arcarecci in lamellare a forma di arco a segmenti hanno andamento parallelo e sostengono un tavolato in legno. Entrambi i segmenti della volta sono collegati fissi tramite archi ribassati in lamellare e un controvento. Stabilizzazione complessiva per mezzo di faccette triangolari che risultano dal collegamento delle travi di estremità. Il tavolato e gli arcarecci irrigidiscono il sistema portante principale.

1 Travi di estremità in lamellare 20/75-95
2 Arcareccio in lamellare 20/81
3 Connessione degli arcarecci alla cerniera di colmo
4 Controsoffitto
5 Cerniera di base in acciaio s = 8 mm
6 Staffa di acciaio
7 Perni filettati ∅ 24 mm
8 Zoccolo in cemento

Fissaggio contro il ribaltamento per travi principali

Contraffisso a tenaglia e montante

Pannello ad anima tra travi di colmo accoppiate

Contraffisso tra travi di colmo accoppiate

Fissaggio contro il ribaltamento per travi principali

Contraffisso in tondo d'acciaio con filetto e piastra di ancoraggio

Intelaiatura di legno con incastro a coda di rondine

Contraffissi collegati con mensola

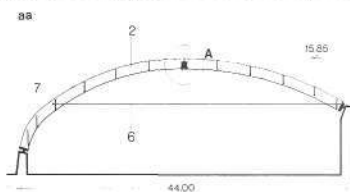
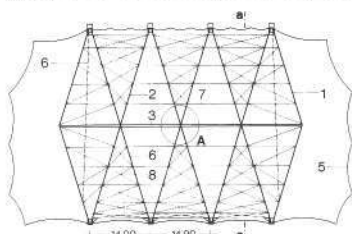
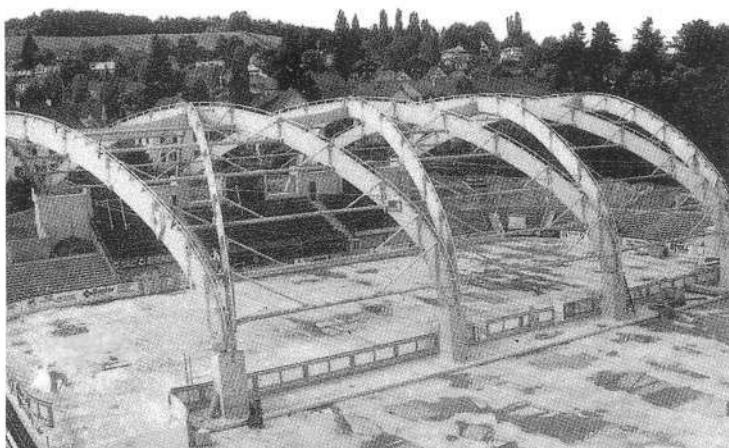
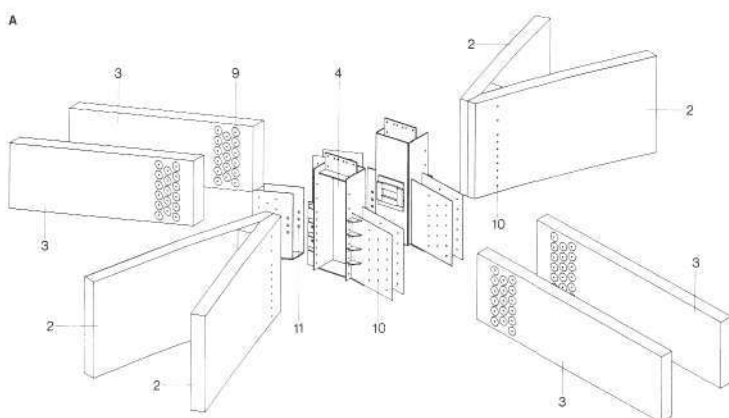
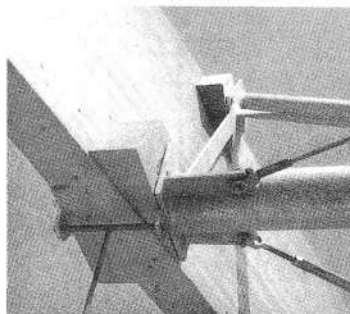
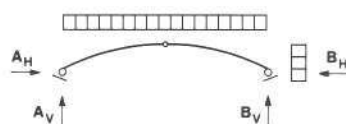
88 • Pista di ghiaccio artificiale

Sciaffusa, Svizzera; 1987

Architetti:
Ufficio tecnico comunale, Sciaffusa

Ingegneri strutturisti:
Plüss & Meyer, Lucerna

Sistema portante principale composto da sei campate in lamellare che si incrociano a coppie, a forma di archi a tre cerniere asimmetrici con tiranti di acciaio anch'essi incrociati e con due travi di estremità per campata. I tiranti hanno andamento orizzontale dall'appoggio più alto fine all'arco opposto. Travi doppie, leggermente incurvate, assorbono gii sforzi di compressione e trazione in direzione longitudinale e fissano nel contempo le travi di estremità. Esse sono collegate alle cerniere di colmo della capriata arcuata per mezzo di connettori ad anello. Le capriate si irrigidiscono reciprocamente grazie alla disposizione nello spazio. Il fissaggio contro il ribaltamento è garantito da puntoni e diagonali in acciaio. Una membrana forma la copertura del tetto; essa poggia su tubi di acciaio che sono fissati alle capriate ed è collegata agli appoggi mediante tensori. In questo modo le tensioni provocata da vortici di vento vengono convogliate direttamente dalla membrana agli appoggi.

aa

1 Trave di estremità
2 Archi in lamellare 20/133,3
3 Trave di colmo 22/90
4 Cerniera di colmo s = 15 mm
5 Membrana
6 Tirante 2 × ∅ = 32 mm
7 Tubo di acciaio ∅ = 220 mm
8 Cavo di acciaio ∅ = 15 mm
9 Connettore a disco dentato 117 mm
10 BS M 20
11 Perni di cerniera M 35

A

Archi a tre cerniere

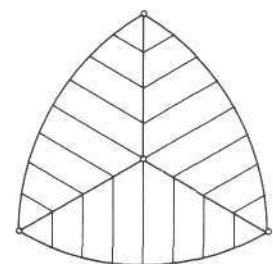
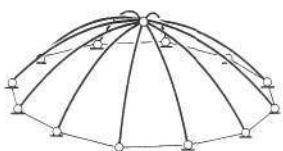
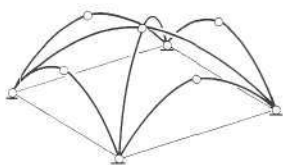
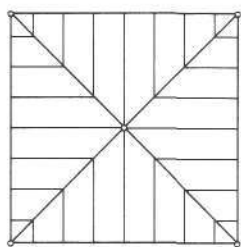
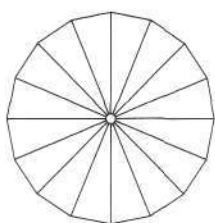
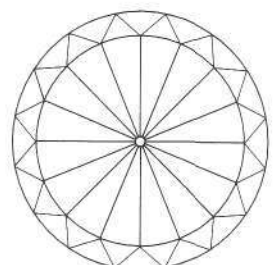
Carico:
carico verticale uniformemente distribuito
carico orizzontale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

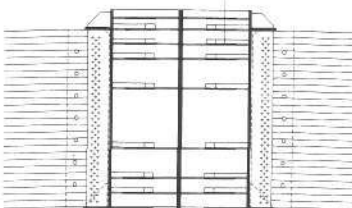
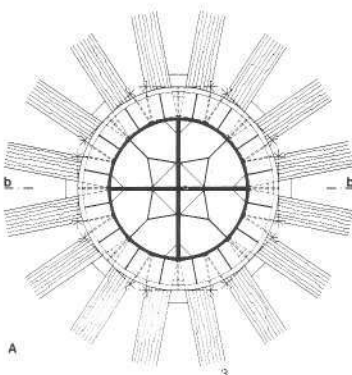
Sforzo normale

Varianti dalla disposizione

Sistema portante primario triangolare

Sistema primario diagonale

senza sostegno sugli appoggi di estremità

con sostegno sugli appoggi di estremità

89 • Capannone

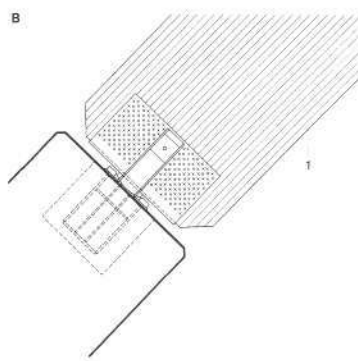
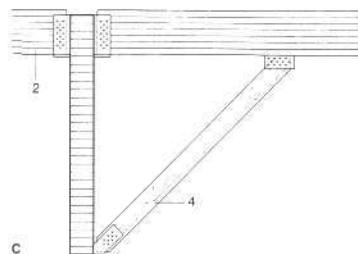
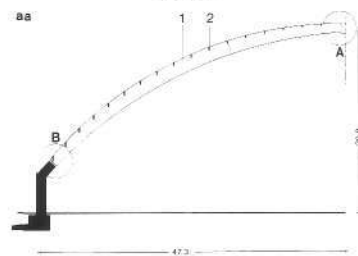
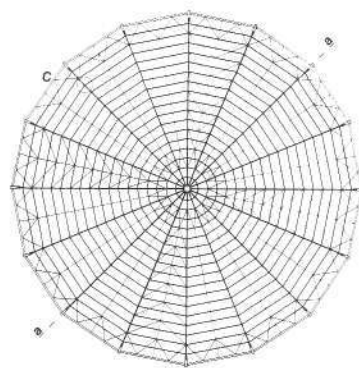
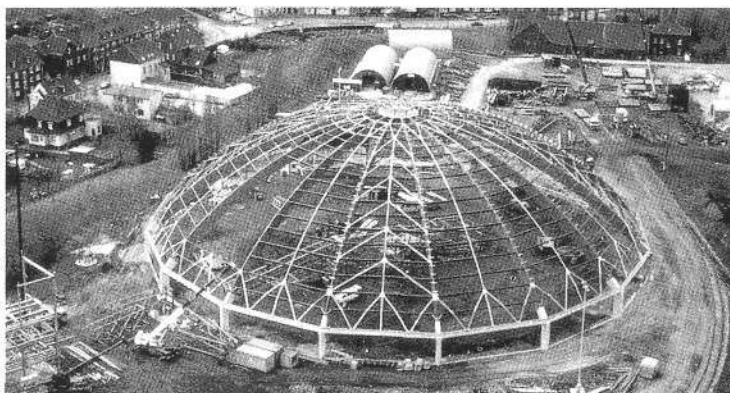
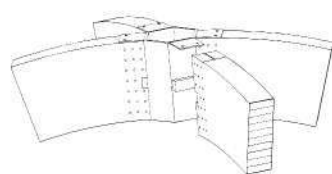
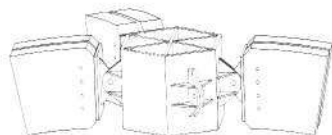
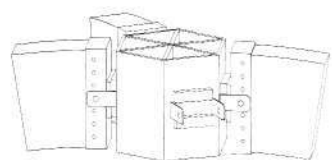
Walsum, Germania: 1987

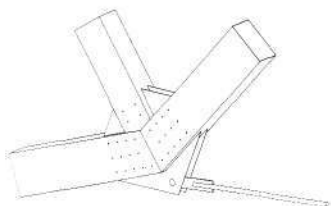
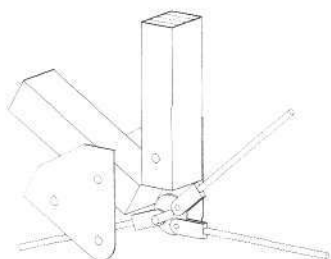
Ingegneri strutturisti:
Bauabteilung Brüninghoff, Heiden

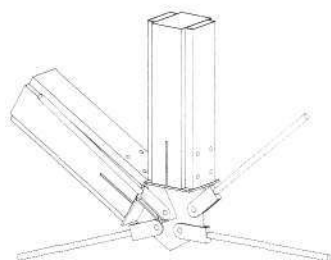
Cupola per un capannone con carico concentrato dal nastro trasportatore ne! punto di colmo. Otto archi a tre cerniere con luce di 94,60 m. Archi in lamellare larghi 20 cm con altezza variabile da 140 a 226 cm eseguiti con un giunto preparato sul posto. Anello di colmo montato *in loco,* giunzioni a contatto ricoperte con resina epossidica. Irrigidimento da pressoflessione tramite contraffissi semplici. Arcarecci a una campata in lamellare con luce massima di 18,40 m. Appoggio intermedio al centro deila campata per assorbimento dei carichi nel piano del tetto, convogliamentc agli appoggi nel settore di estremità tramite diagonali. Elementi di irrigidimento in legno massello in quattro campate e nel settore di colmo. Stabilità complessiva ottenuta per mezzo della disposizione nello spazio degli archi e per la presenza di controventi. Copertura del tetto in lamiera di alluminio.

1 Capriata principale in lamellare 20/140-226

2 Arcarecci in lamellare 8-16/16-70

3 Anello di colmo in acciaio ∅ 1,6 m

4 Contraffisso 8/16

Punti di colmo in caso di disposizione incrociata

Elemento centrale in acciaio con eccentrico e lamiera intagliata di testa

Elemento di acciaio centrale con nervature di rinforzo, ali saldate e perni di cerniera. Cessione del carico nel legno tramite piattabanda

Elemento centrale di acciaio con nervature di rinforzo, cessione del carico tramite eccentrici sulla piattabanda

Connessione montante-tiranti

con piastre chiodate e incastrate

con coprigiunti in acciaio e perni di cerniera

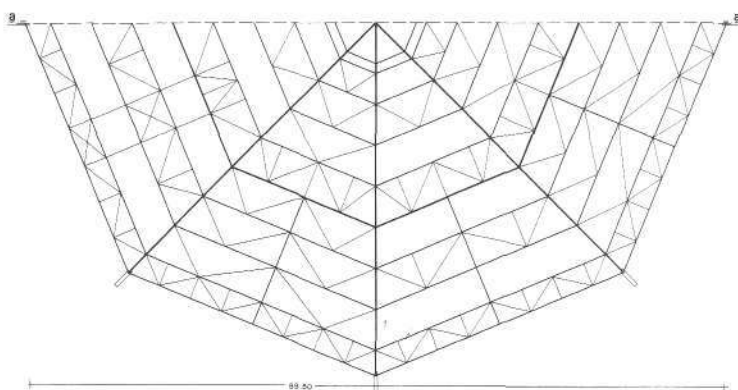
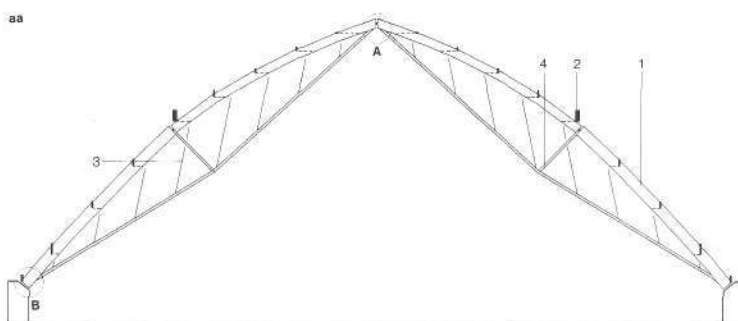
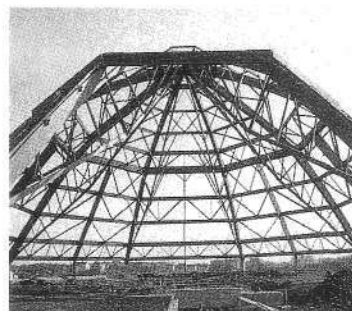
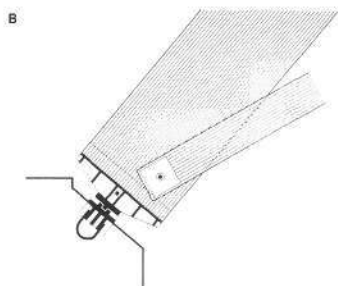
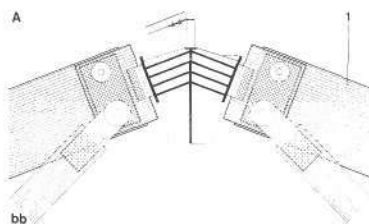
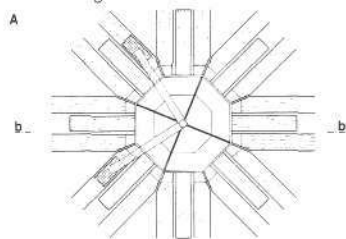
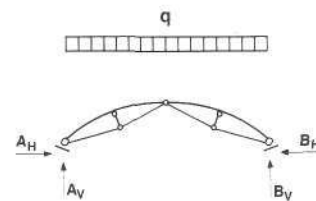
con piastra compressa e perni di cerniera, fissaggio intagliato

con piastra compressa e fissaggio da pressoflessione

90 • Deposito per il carbone

Oberhausen-Osterfeld, Germania; 1981

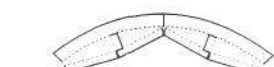
Architetti: Dipartimento centrale edilizia della Bergbau AG, Niederrhein

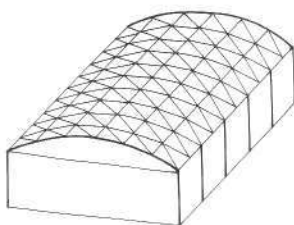
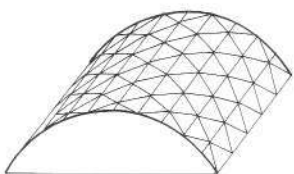
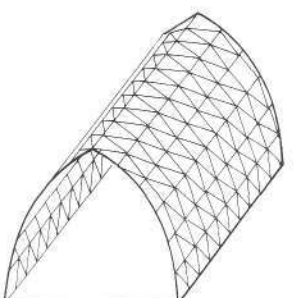
Ingegneri strutturisti:
Studio di progettazione
Natterer e Dittrich, Monaco

Otto mezze capriate rinforzate inferiormente da tiranti sono posate su lastre di cemento armato incastrate a 5 m di altezza sopra il capannone ottagonale. Esse formano il sistema di travi principale della costruzione a cupola alta 40 m con diametro 89.5 m. I correnti superiori consistono in travi a tenaglia in lamellare e sono caricati su cerniere nel punto di deflessione. Punto di cerniera supportato da un puntone rinforzato inferiormente da tensori. Correnti in legno del rinforzo inferiore stabilizzati da contraffissi. L'effetto portante nello spazio viene generato dalla connessione ad anello con una corona di arcarecci all'altezza del punto di flessione. Travi intermedie riducono la luce degli anelli di arcarecci esterni. Irrigidimento contro il vento e stabilizzazione da pressoflessione delle capriate tramite controventi, la cessione del carico del vento alle fondamenta viene svolta dal sistema di capriate stesso. Nel punto di colmo devono essere assorbiti carichi di 200 kN da nastro trasportatore e distributore.

1 Correnti superiori Capriata a tenaglia in lamellare 2 × 24 × 140
2 Arcareccio ad anello in lamellare 22/140
3 Contraffissi in lamellare 12-24/12-24
4 Montante compresso in lamellare 24/24

Arco a tre cerniere rinforzato inferiormente da tensori

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito
carico orizzontale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale

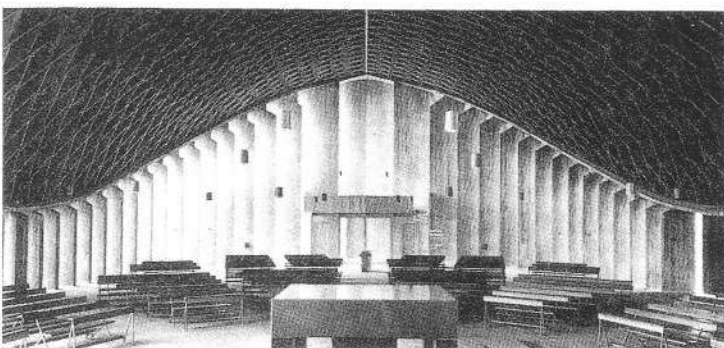
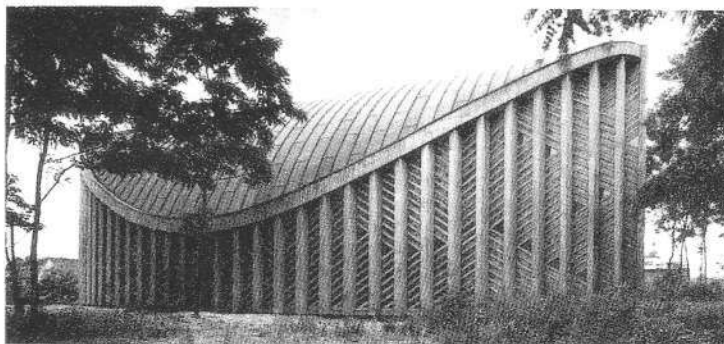
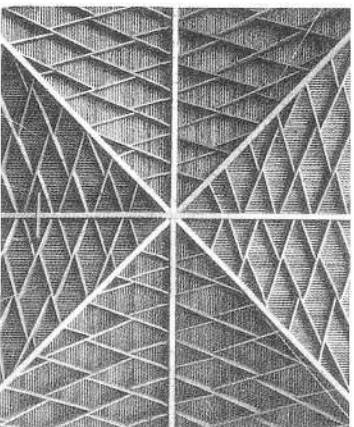
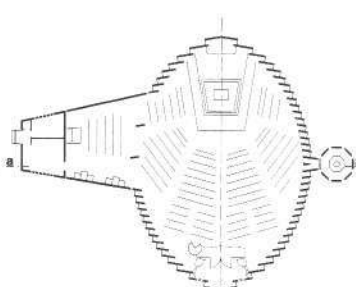
Varianti di struttura portante

Sezione circolare

Sezione parabolica

Forma ad arco gotico

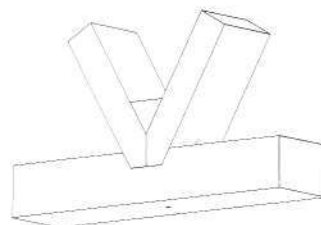
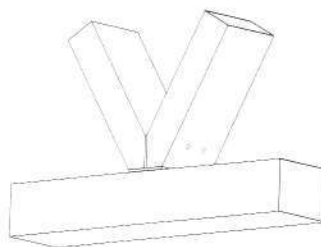
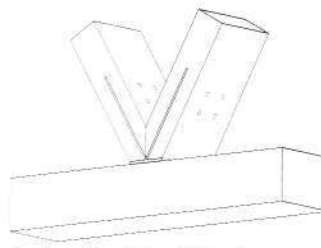
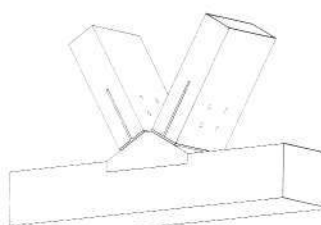
91 • Chiese costruite secondo il metodo Zollinger

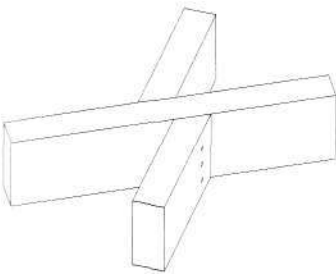
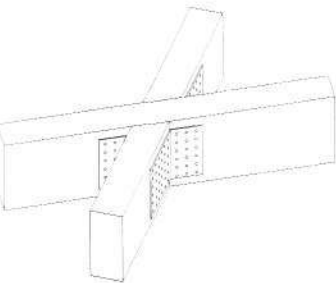
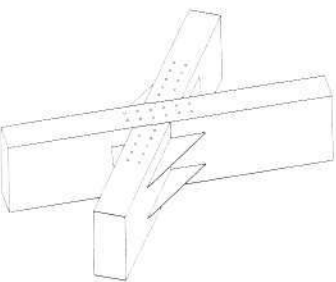
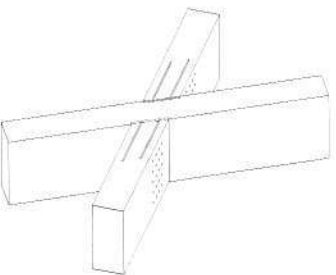
Colonia/Leverkusen. Germania; 1957-67

Architetti:
J. Lehmbrock, K. Schulting. Düsseldorf

Ingegnere strutturista:
R Schweiger, Monaco

Costruzioni del tetto della chiesa di Sant'Alberto Magno a Leverkusen e della chiesa della Trasfigurazione di Cristo di Colonia come volte con disposizione romboidale dei costoloni di legno. Elementi nervati disposti sfalsati nel punto di incrocio secondo il metodo di costruzione sviluppato all'inizio del secolo dal consigliere edile Zollinger, per collegare due costoloni con lo stesso chiodo o bullone. Nel primo caso la volta nervata venne eseguita con una trave di colmo, nell'altre caso con travi di colmo e d'angolo ad andamento cruciforme, che supportane gli elementi della volta come archi a tre o due cerniere. Lo sforzo di estremità viene ceduto da una trave in cemento alle pareti esterne. ! costoloni di legno sono irrigiditi per mezzo del tavolato del solaio.

Chiesa di Sant'Alberto Magno a Leverkusen

Chiesa della Trasfigurazione di Cristo a Colonia

Connessione aste reticolari-trave di estremità

incastrate nella trave di estremità, fissaggio con cuneo e perni filettati

Lamiera di acciaio a T, incavicchiata

Lamiera di acciaio a K, intagliata e incavicchiata

Nucleo di legno duro incastrato, lamiera di acciaio a T, intagliata

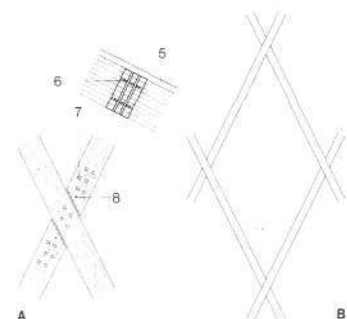
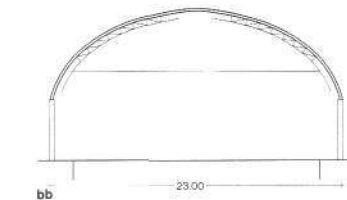
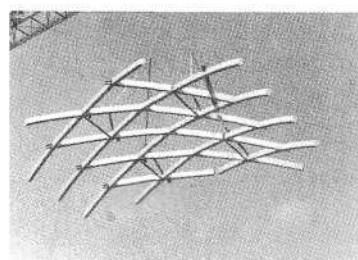
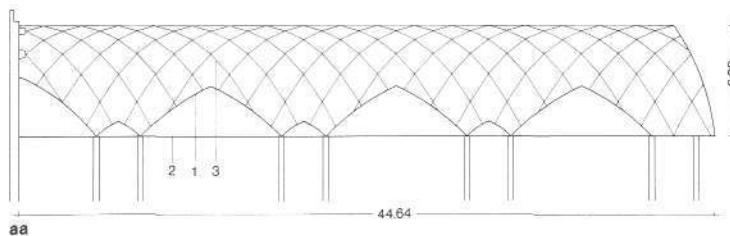
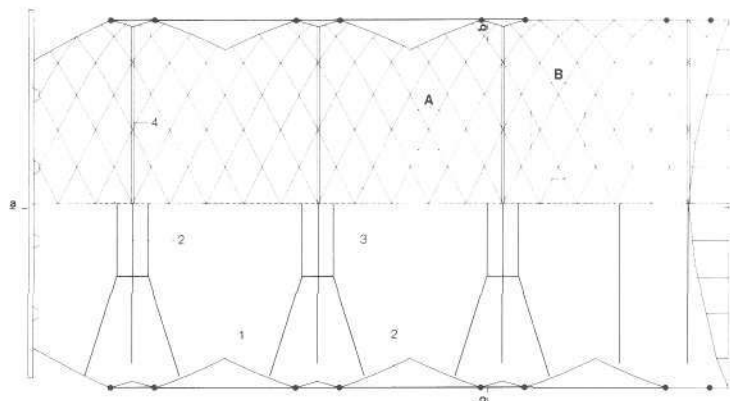
Punti nodali di costoloni disposti a rombo

Metodo di costruzione Zollinger con costoloni disposti sfalsati e avvitati o chiodati tramite la diagonale

con piastre di acciaio angolari chiodate

con piastre di acciaio intagliate e chiodate

Piastre chiodate incastrate con piastra di base fissata sul costolone continuo

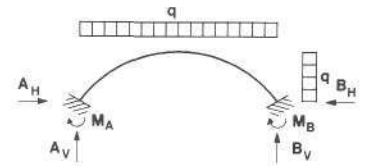
92 • Palestra

Berlino, Germania; 1987

Architetti:
H. e I. Baller, Berlino

Ingegneri strutturisti:
Ingenieurgruppe Berlin. C. Scheer

Copertura della palestra da 24 x 45 m con una volta a botte nen/ata in lamellare con tiranti in acciaio. I costoloni sono composti da travi ricurve in lamellare da 16/28 cm, che formano rombi delle dimensioni di 2,36 x 4,75 m. Un elemento arcuato prosegue fino a un nodo e viene collegato al nodo seguente in modo rigido con lamiera di acciaio intagliata. I carichi vengono ceduti ai montanti compositi in cemento armato. Effetto lastra tramite un assito del tetto in tavole da 40 mm con doppia scanalatura. Stabilizzazione in direzione trasversale per mezzo di pareti sormontate da timpano. In direzione longitudinale tramite le pareti della scala e l'incastro dei montanti principali corti. Copertura del tetto in lamiera zincata su un tavolato da 24 mm e controtavolato con isolamento termico. L'intera costruzione soddisfa la resistenza al fuoco F 30 B. Gli elementi nervati prefabbricati sono stati montati sugli archi di acciaic con quattro travi di montaggio.

1 Elemento perimetrale in cemento
2 Tirante in acciaio
3 Trave in lamellare
4 Trave in acciaio
5 Tavolato assito
6 Lamiera 115 × 10-730
7 Spina
8 Bullone di serraggio

Arco compresso incastrato

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito
carico orizzontale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

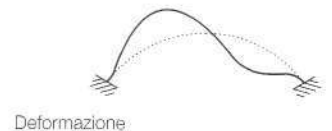
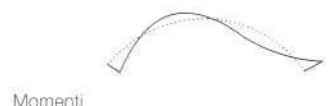
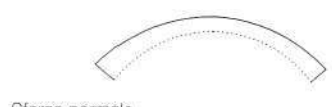
Sforzo normale

Sezioni piene

Forma di base: catenaria determinata da peso proprio

Sospensione su mensola di appoggio

Sospensione su montante incastrato

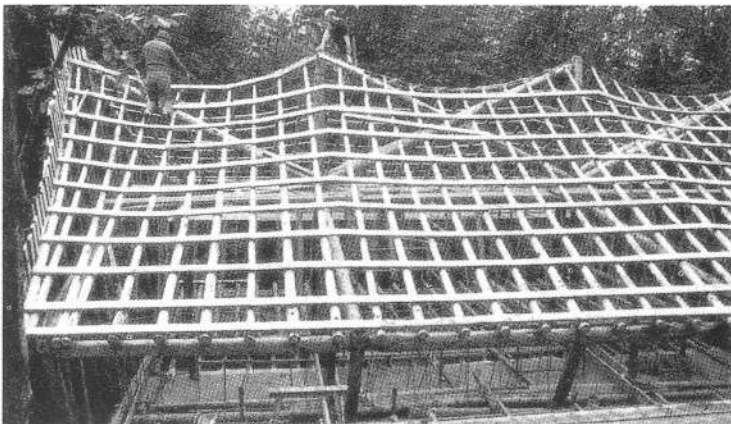
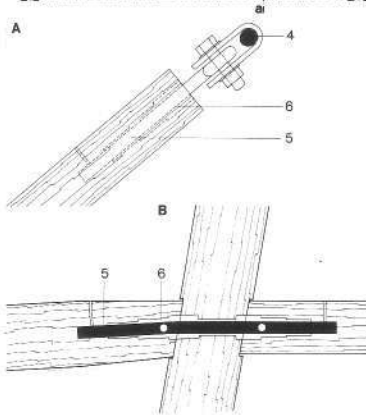
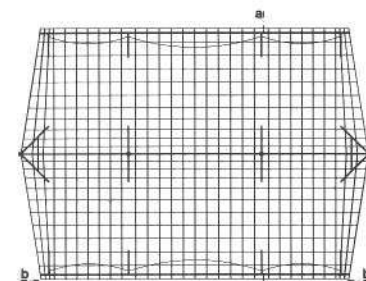
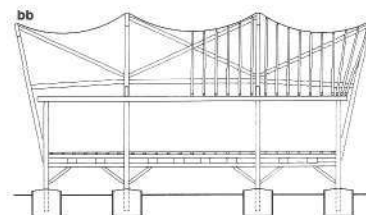
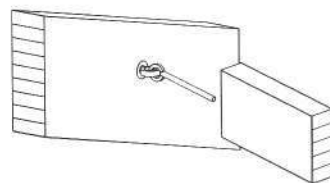
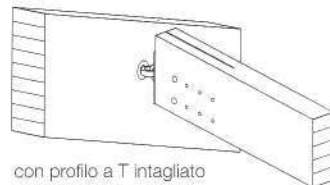
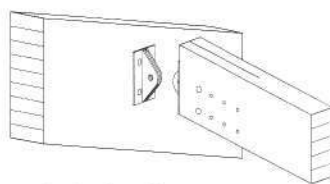
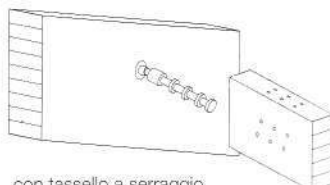
Sospensione su un cavalletto

93 • Scuola

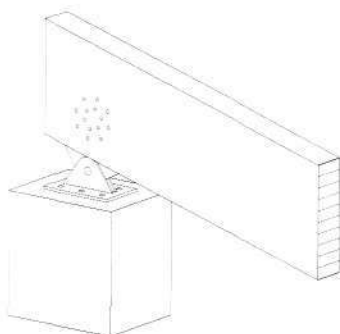
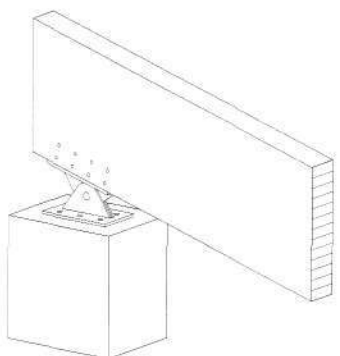
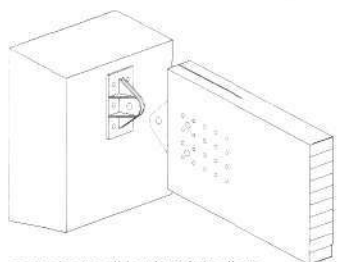
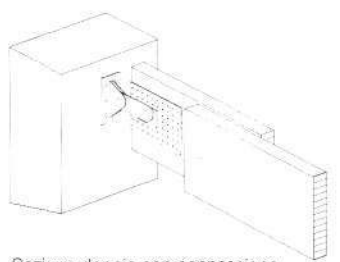
Hooke Park Forest, Gran Bretagna; 1985

Architetti: R Ahrencis, R. Burton, R Koraiek, Londra
Consulenza: Frei Otto, Stoccarda

Ingegnere strutturista:
E. Happold, Berlino

Il centro scolastico con costruzione in legno è composto da più edifici singoli di forma diversa realizzati in legno a sezione circolare. Per sfruttare la resistenza alla trazione particolarmente elevata del legno tondo sono stati utilizzati tronchi sottili come tiranti sospesi. Collegamento tramite viti di acciaio filettate, che vengono pressate nel legno di testa con resina epossidica e fibre di cellulosa aggiunte. Estremità dei tronchi avvolte con nastro di fibre per impedire scheggiature. Il primo edificio è stato eretto con l'ausilio dì quattro telai ad A tesi tra di loro. Il cavo dì colmo fissato alla sommità accoglie i travetti sospesi. Telai dì facciata inclinati verso l'esterno formano, insieme con gli elementi della gronda, l'appoggio perimetrale che a ogni montante è collegato alla facciata per mezzo di un puntone. Tavole disposte orizzontalmente sostengono uno strato flessibile di isolamento del tetto, I carichi orizzontali vengono assorbiti da telai di colmo nello spazio e dalle strutture di irrigidimento nelle facciate.

1 Telaio, montante ∅ 20-40
2 Puntone obliquo ∅ 20-25
3 Falso puntone ∅ 15-20
4 Fune metallica ∅ 25 mm
5 Perno filettato ∅ 25 mm
6 Resina epossidica, rinforzata con fibre di cellulosa

Fissaggio incernierato di costoloni tesi alla trave principale

con viti ad anello incollate

con profilo a T intagliato e vite ad anello

con lamiere intagliate e perni di cerniera

con tassello a serraggio

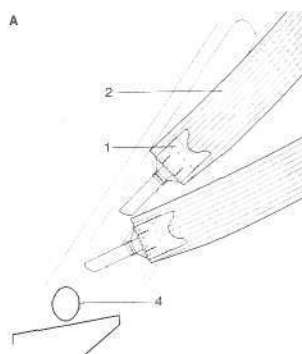
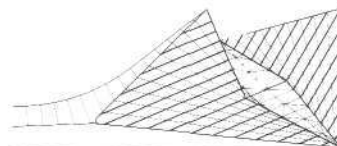
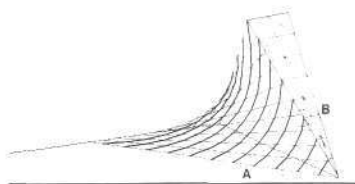
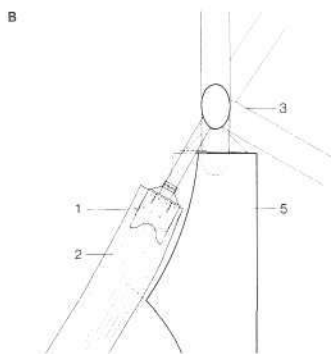
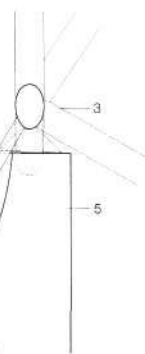
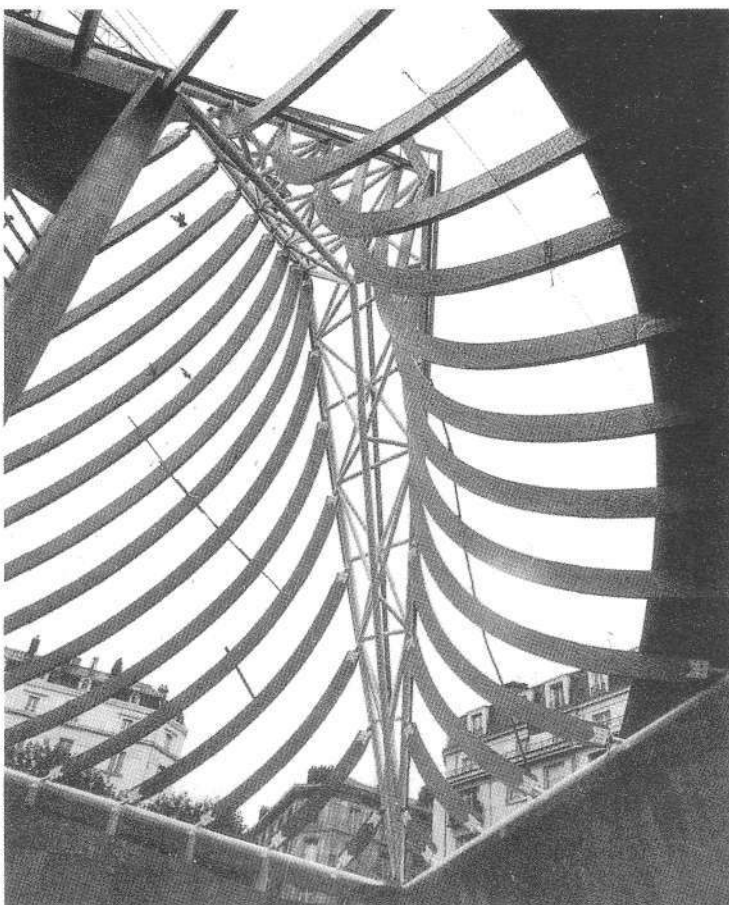
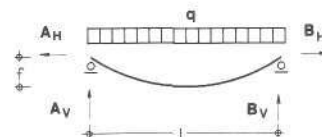
Appoggio per archi sospesi

con lamiera intagliata
e perni di cerniera

con lamiera intagliata inferiormente
e piastra di appoggio, perni di cerniera

con piastra di lamiera intagliata
e perno di cerniera

Sezione doppia con connessione
di perni di cerniera interna

94 • Chiesa

Rouen, Francia: 1979

Architetto: L. Arretche, Parigi

Ingegnerì strutturisti: U.B.E., Dreux

Pilastri di facciata in cemento massiccie e una costruzione a traliccio in acciaio formano il sistema portante principale di questa chiesa. Tra le travi di estremità realizzate in profili a tubo si estendono i costoloni sospesi in lamellare che formano volte del tetto a forma di paraboloide iperbolico. Un tavolato posato perpendicolarmente ai costoloni li irrigidisce ed è visibile come soffitto. Le tensioni di estremità vengono convogliate nella costruzione sottostante da travi in acciaio.

1 Staffa di acciaio s = 6 mm
2 Lamellare 14/60
3 Trave di acciaio
4 Tubo di acciaio Ø 320 mm
5 Pilastro di cemento armato

Arco sospeso su cerniere

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito
carico orizzontale uniformemente distribuito

$$A_V = B_V = \frac{q \cdot l}{2}$$

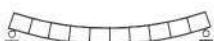
$$A_H = B_H = \frac{q \cdot l^2}{8 \cdot f}$$

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale

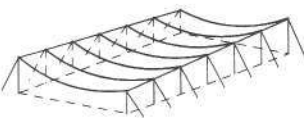
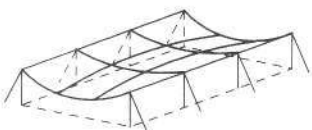
Sezioni libere

Trave ad anima

Trave ad anello circolare

Trave reticolare
con diagonali compresse

Trave reticolare
con diagonali incrociate

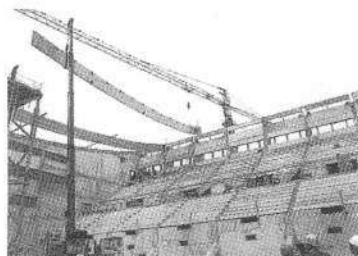
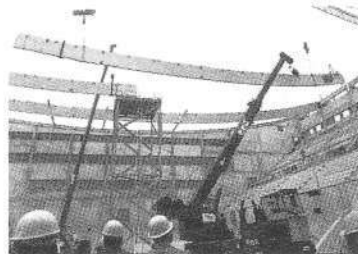
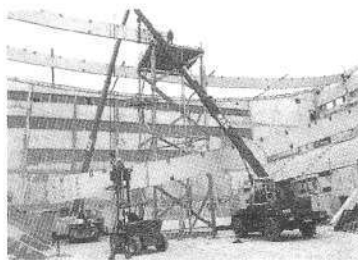
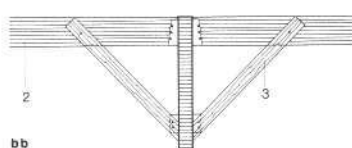
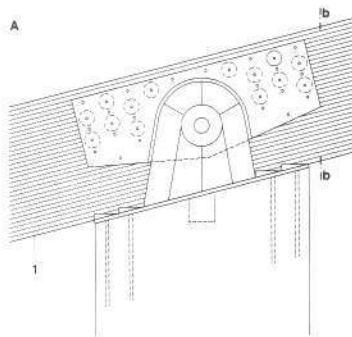
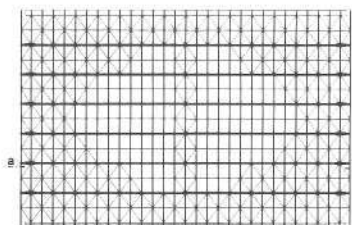
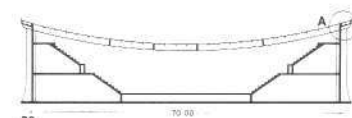
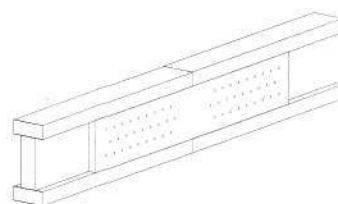
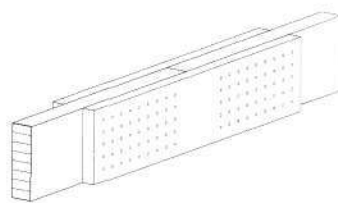
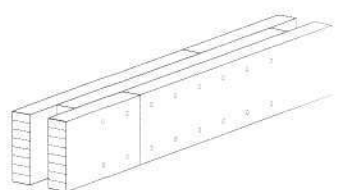
Trave reticolare con rombi

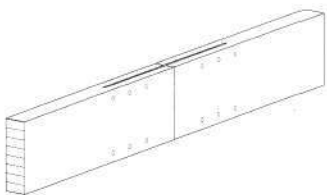
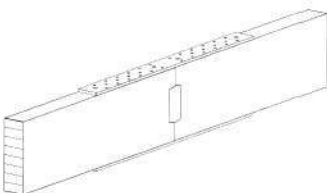
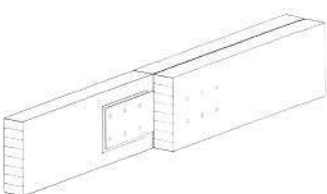
Possibilità di disposizione
di travi sospese

95 • Palazzetto dello sport

Digione, Francia; 1976

Architetto: J.F. Devaiière, Digione

Ingegneri strutturisti:
R. Weisrock S.A., Sauicy-sur-Meurthe

Il palazzetto dello sport di dimensioni 72,5 x 70,6 m con 4000 posti a sedere è sovrastato da un tetto sospeso con travi in lamellare. I travetti da 16/150 cm sollecitati a flessione e trazione sono incernierati ai pilastri di cemento a distanza di 6,75 m. Per motivi di trasporto le travi sono state unite mediante giunto ai centro della campata. Connessione nei coprigiunti in acciaio esterni per mezzo di connettori ad anello in lega di alluminio. Per ridurre la cedevolezza della connessione, i fori sono stati spruzzati successivamente. Irrigidimento da pressoflessione per mezzo di puntoni di legno orizzontali su entrambi i lati. Arcarecci in lamellare a distanza di 2,53 m sostengono la lamiera trapezoidale con isolamento termico e impermeabilizzazione di cartone. Il riscaldamento del tetto serve per evitare accumuli di neve. I controventi in diagonali di legno si allargano partendo dall'appoggio.

1 Trave principale in lamellare 16/150
2 Arcareccio in lamellare 11/33
3 Puntone 5/15

Giunti tesi

Trave a I con coprigiunti laterali chiodati

Sezione rettangolare con coprigiunti chiodati

Trave doppia, con giunto sfalsato ed elemento ligneo centrale incavicchiato

Giunti tesi

Lamiera di acciaio intagliata e incavicchiata

Coprigiunti in acciaio chiodati sopra e sotto con fissaggio da trazione trasversale e trasmissione dello sforzo di taglio per mezzo di spine in legno duro

Trave gemella con lamiera chiodata interna e piastra di acciaio incavicchiata

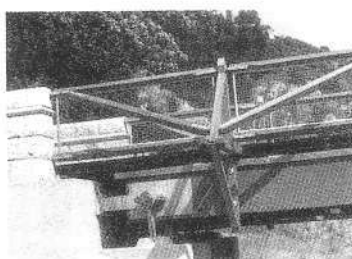
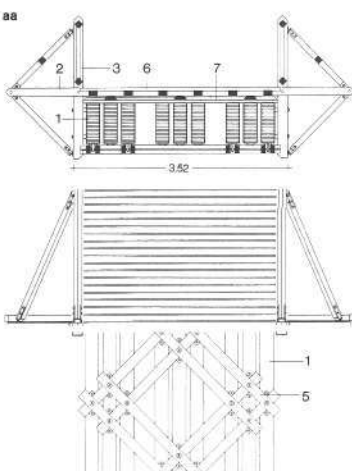
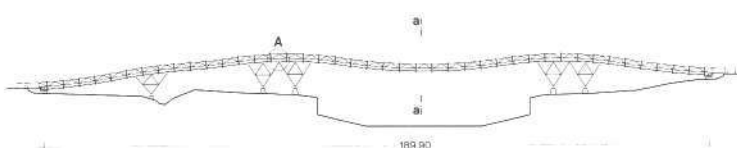
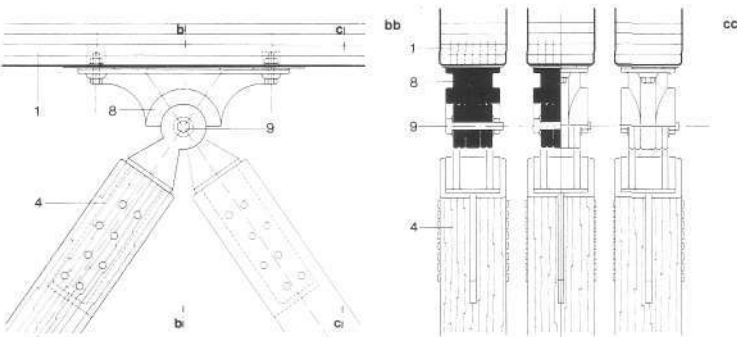
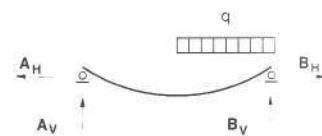
96 • Ponte

Essing, Germania; 1986-87

Architetti: R.J. Dietrich, A. Skrabi, Monaco

Consulenza progetto preliminare: Società di progettazione Natterer e Dittrich, Monaco

Ingegneri strutturisti: Brùninghoff e Rampf, Ulm

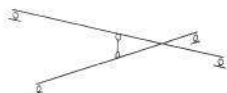
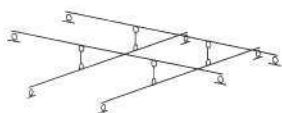
Il ponte pedonaie e ciclabile largo 3,5 m si estende con una lunghezza totale di 192 m sopra una strada statale e il canale Reno-Meno-Danubio. Nove travi continue in lamellare da 22/65 cm collegate in cantiere con incastri a coda di rondine formano un tirante, in modo tale che in tutte le campate si presentino tensioni possibilmente uguali e che la flessione si presenti solo localmente tramite carichi singoli. Per l'assorbimento dei carichi laterali del vento e per il fissaggio della stabilità dinamica è presente una struttura di travi coilegata orizzontalmente a una sezione scatolare; sul lato superiore tramite un tavolate diagonale a croce, sul lato inferiore tramite un controvento diagonale in aste di legno squadrato. Appoggi intermedi sotto forma di travi reticolari con irrigidimento trasversale per mezzo di croci di acciaio. Fissaggio teso al piedritto di cemento mediante alberi articolati e coprigiunti a forcella. Graticcio dell'impalcato in legno bongossi. La costruzione rappresenta un tentativo. Resta da vedere se a lungo termine il sistema presenterà problemi per quanto riguarda la stabilizzazione.

1. Tirante in lamellare 22/65
2. Trave a tenaglia 10/13
3. Montante 10/16
4. Legno squadrato 22/22
5. Controvento diagonale 6/16
6. Tavolato 5/10
7. Assito diagonale a due strati
8. Cerniera di connessione in acciaio
9. Bullone M 36

Arco sospeso con assorbimento a simmetria del carico

Carico:
carico verticale uniformemente distribuito
carico orizzontale uniformemente distribuito

Deformazione

Momenti

Sforzo di taglio

Sforzo normale

Sistemi a graticcio di travi

Travi disposte a croce

con connessioni a incastro incrociato

Legno squadrato:

a = 0,60-1,20 m

$h = \frac{l}{20} - \frac{l}{30}$

l = 6-12 m

Legno lamellare con nodi di acciaio:

a = 2,40-7,20 m

$h = \frac{l}{16} - \frac{l}{30}$

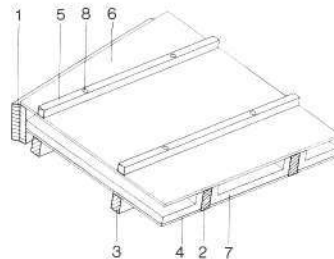
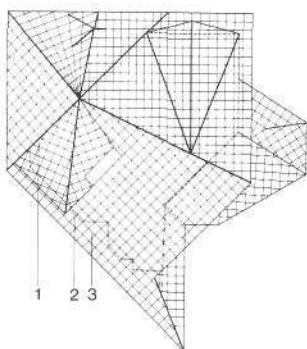
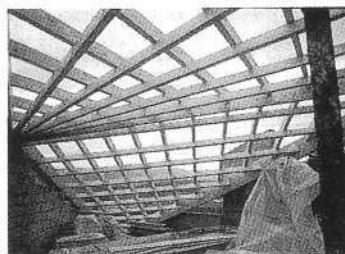
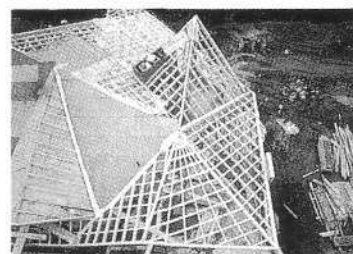
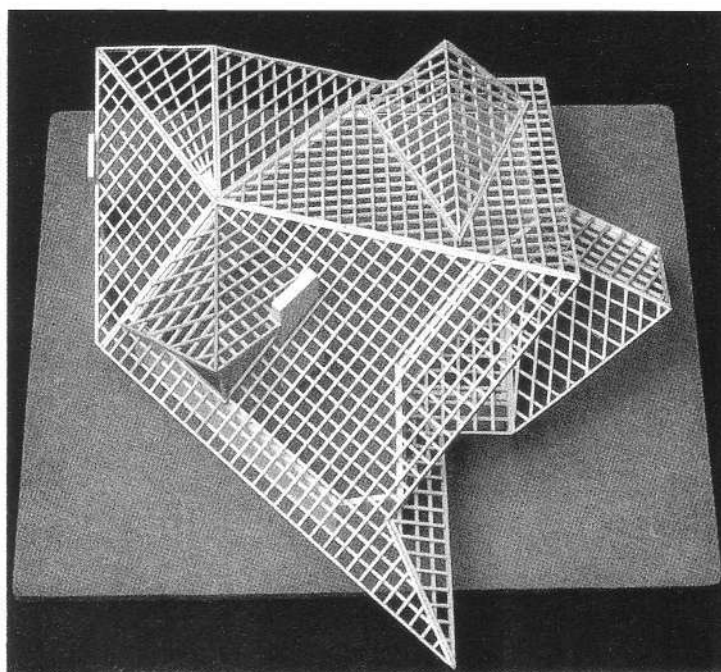
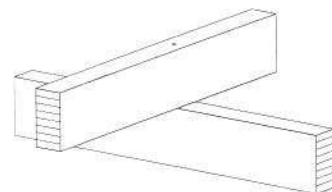
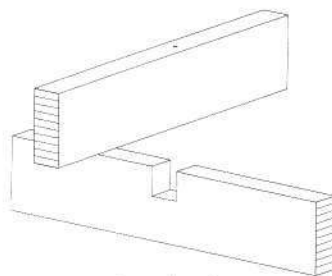
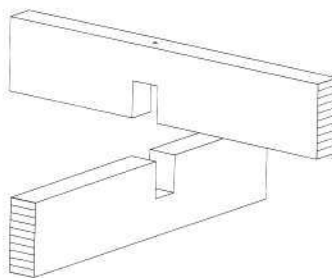
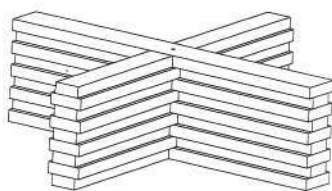
l = 12-24 m

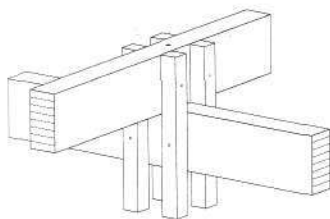
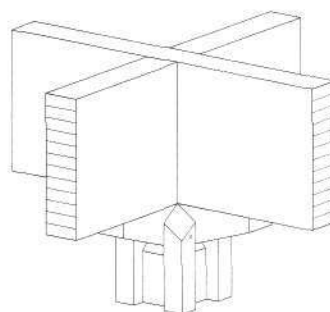
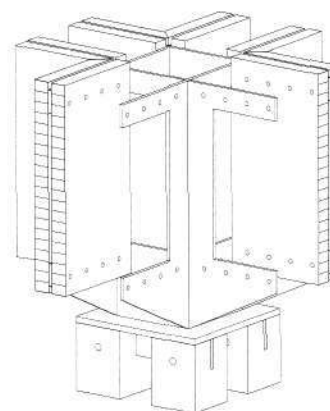
97 • Casa d'abitazione

Biel, Svizzera; 1985

Architetti: Serrar, Port, Svizzera

Ingegneri strutturisti:
Natterer Bois-Consult, Etoy, Svizzera

Una costruzione in graticcio dì travi che copre circa 400 m² forma il sistema portante per il tetto di un edificio per abitazione e ufficio composto da numerose faccette. Le capriate in legno lamellare del graticcio e della catena disposte a stella sono fissate alla muratura e ai settori ampiamente sporgenti da un montante a fungo in legno e da due strutture di aste a mensola. Tra di esse è disposto un graticcio in travi di legno massello incrociate. L'architravata superiore composta da sezioni di 8/16 cm è posata in direzione della pendenza e sostiene il pannello di fibre dure con controsoffitto per la copertura de! tetto. Lo strato di tavole inferiore a vista ha andamento orizzontale e sostiene un assito in compensato con isolamento termico sul lato superiore. I punti di incrocio sono fissati con bulloni che possono venire serrati dal basso.

1 Trave principale in lamellare 2 × 6/28
2 Legno massello 6/18
3 Legno massello 6/12
4 Pannelli di compensato d = 20 mm
5 Controsoffitto
6 Pannello di materiale a base di legno d = 20 mm
7 Isolamento termico
8 Perno filettato affondato

Nodi di graticci di travi a 90°

Travi disposte a croce

con connessione a incastro incrociato

con intaglio unilaterale

nel metodo di costruzione a listelli impilati

Appoggi di graticci di travi

Montante in quattro parti. Connessione con spine oppure con due connettori ad anello o disco dentato o con piastre chiodate

Montante in cinque parti con nucleo di legno duro quale rinforzo dell'appoggio

Montante in quattro parti con piattabanda e ali intagliate per fissaggio in posizione

98 • Ufficio postale

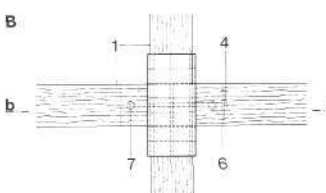
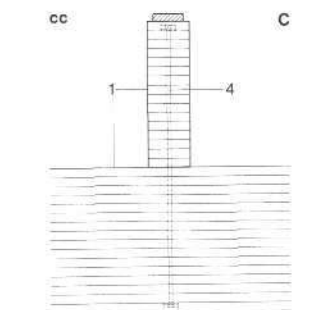
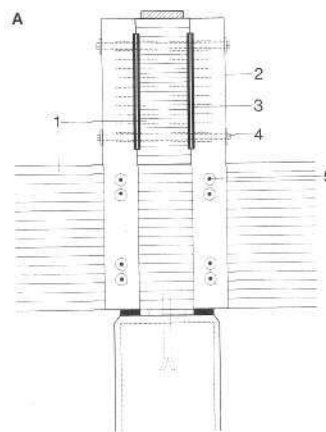
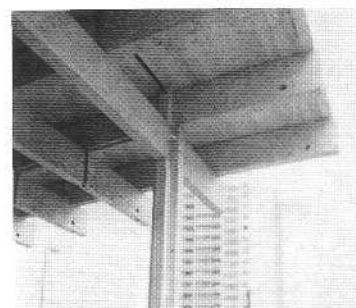
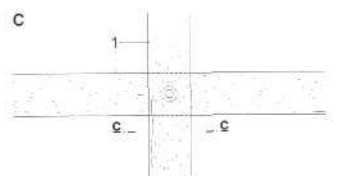
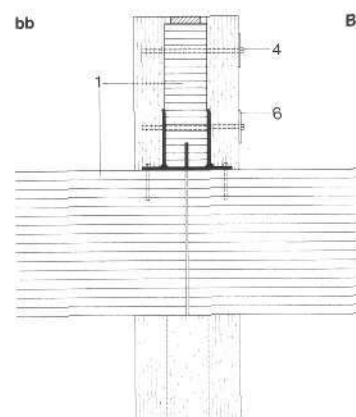
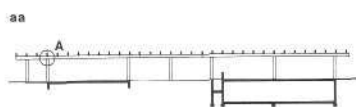
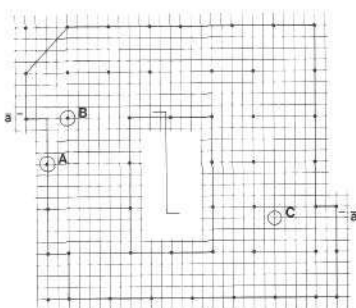
Monaco-Perlach, Germania: 1979-81

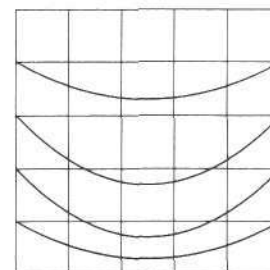
Architetti: Direzione centrale delle Poste, Monaco

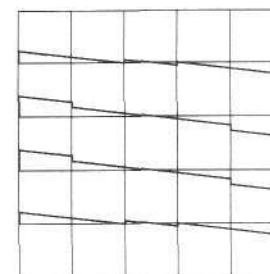
Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterer e Dittrich, Monaco

Un graticcio di travi a due strati in elementi di legno lamellare forma la costruzione del tetto piano sopra un pianta di 33 x 44 m con cortile coperto a vetri. Il reticolo quadrato con lati lunghi 1,35 m forma un graticcio con luce massima di 10,80 m, formato da travi a sezione 14/48 cm. La loro sporgenza nel settore di estremità garantisce una buona protezione dagli agenti atmosferici delle facciate in legno e vetro. Montanti realizzati in parte in legno lamellare con sezione a croce, in parte come pilastri incastrati in cemento armato. Disposizione ampiamente adattata all'utilizzo dell'edificio. Sullo strato di travi superiore un tavolato a maschio e femmina sostiene lo strato di copertura coibentata e non ventilata. Controventi in barre di acciaio nel piano del tetto distribuiscono le forze orizzontali ai pilastri di cemento armato incastrati.

aa

A

1 Lamellare 16/48
2 Montante quadruplo 11,5/13,5
3 Piastra chiodata
4 Vite
5 Spina
6 Rondella
7 Tubo Ø 25 mm

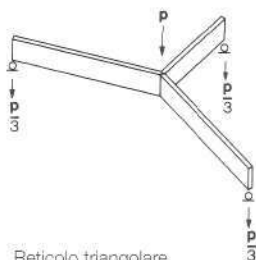
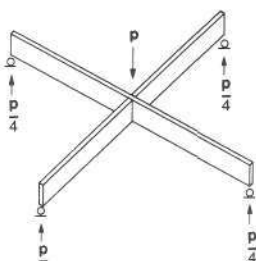
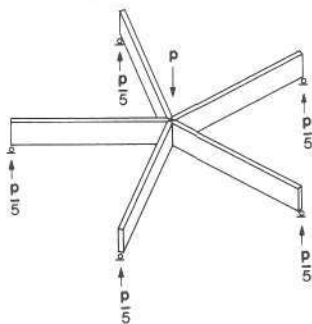
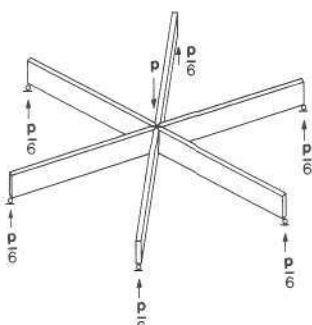
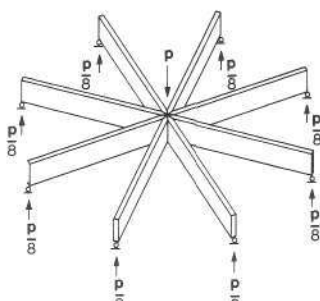
Graticcio di travi posto liberamente su tutti i lati con disposizione ortogonale

Andamenti dei momenti in linea di principio in direzione M_x, M_y analogo

$$\max M_x = q \cdot \frac{l^2}{16}$$

Andamento sforzo di taglio in linea di principio in

$$Q_x = q \cdot \frac{l}{4}$$

Caratteristiche:
Segno dei momenti uguale
Momenti superiori rispetto al graticcio di diagonali, distribuzione di tensioni parzialmente più sfavorevole rispetto al graticcio di diagonali

Campi di impiego:
strutture a pianta rettangolare od ortogonale con rapporto laterale max 1 : 1,3

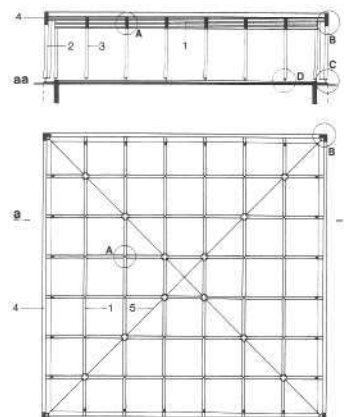
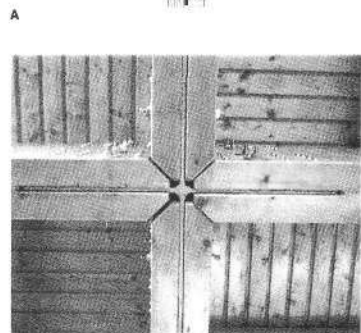
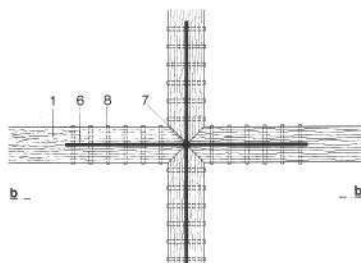
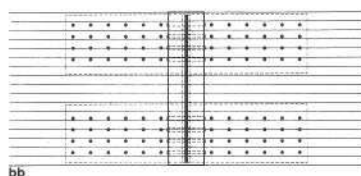
Varianti di geometria

Reticolo triangolare

Reticolo quadrato

Reticolo pentagonale

Reticolo esagonale

Reticolo ottagonale

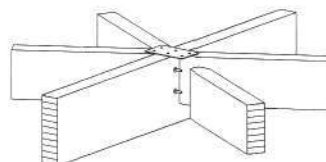
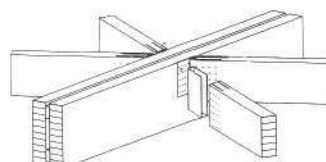
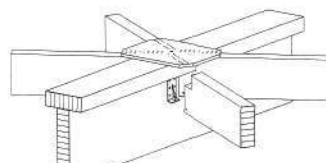
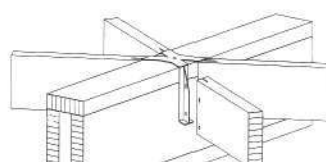
99 • Scuola di giurisprudenza

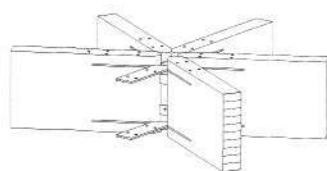
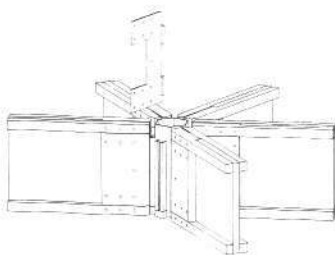
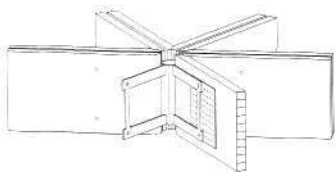
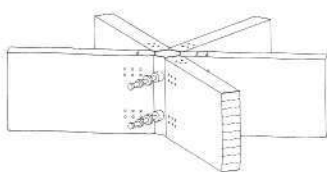
Starnberg, Germania: 1978

Architetti: Ufficio edile statale, Monaco

Ingegneri strutturisti: Società di progettazione Natterer e Dittrìch, Monaco

Il padiglione a tetto piatto a un piano con una superficie di 15 x 15 m è composto da una costruzione a telaio con un solaio in graticcio di travi. I montanti angolari sono collegati in modo resistente a flessione con le travi di gronda per mezzo di elementi in acciaio, in modo da assorbire le tensioni orizzontali in direzione longitudinale e trasversale. Un graticcio di travi formato da elementi in lamellare 14/60 poggia su montanti oscillanti in legno lungo le quattro facciate. Nei punti di incrocio i singoli elementi lunghi 2,10 m sono collegati con due piastre di acciaio incrociate. La direzione portante delle travi secondarie varia di 90° in ogni campata, così da caricare in modo uniforme la trave principale in entrambe le direzioni. Parallelamente ad esse è disposto un assito del tetto spesso 19 mm. Una barra di acciaio collega diagonalmente i montanti d'angolo per l'irrigidimento orizzontale del piano del tetto.

1 Trave 14/60
2 Montante angolare 2 × 14/64
3 Montante oscillante 14/14
4 Trave di estremità 18/65
5 Controvento in barre di acciaio
6 Elemento in acciaio s = 6, 10, 12 mm
7 Tondino di acciaio ∅ 30 m
8 Spina ∅ 14 mm
9 Legno di conifere 12/10
10 Tubo di acciaio ∅ 44,5 × 4 mm

Connessioni fra travi secondarie e trave principale sottoposte a sforzo di taglio nei graticci

con connettori ad anello, perni filettati incollati e coprigiunto teso

Lamiera a U chiodata avvitata su piastra di acciaio

Angolare a L con ala e coprigiunto teso chiodato

Profilo ad anima sospeso

Nodi rigidi di graticci con disposizione a 60°

Stella composta da coprigiunti di lamiera orizzontali intagliati nella trave e incavicchiati

Lamiera a intaglio incavicchiata con camma nella guida scorrevole

Trave gemella con connessione per mezzo di perni di cerniera

Tubo di acciaio con tasselli a serraggio avvitati (sistema Bertsche)

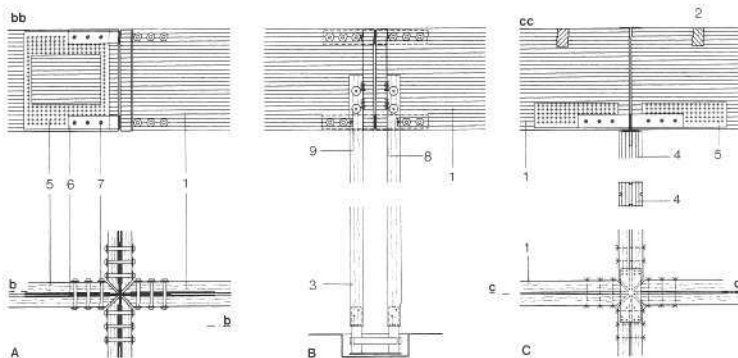
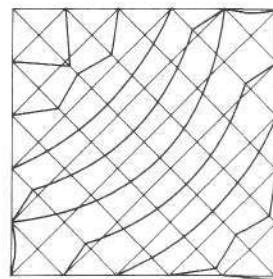
100 • Centro comunitario

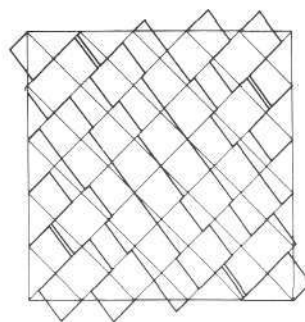
Ótlingen, Germania; 1978-79

Architetti: Kammerer & Belz e associati, Stoccarda

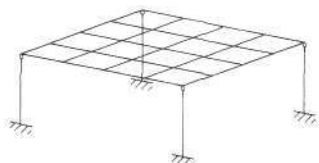
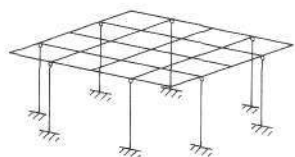
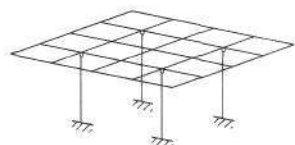
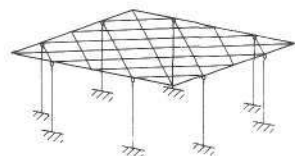
Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterer e Dittrich, Monaco

Un graticcio di travi su montanti di legno copre il centro comunitario. Le maglie del sistema formano in pianta un reticolo quadrato con lati lunghi 3,5 m. Gli appoggi disposti nei punti di incrocio sono montanti quadrupli 12/12 in lamellare oppure montanti semplici in lamellare da 21/21 con fresature di stabilizzazione.
Il graticcio di travi è composto da elementi doppi in lamellare da 10/90, lunghi 3,5 m, che sono collegati in modo rigido nei punti di incrocio, in modo da sostenersi senza appoggi fino a 14 m. Connessione per mezzo di piastre di acciaio chiodate al lato interno delle travi che sono collegate tramite bulloni con una croce di acciaio. Gli arcarecci di legno massello disposti ortogonalmente in modo alternato sostengono un tavolato del solaio spesso 24 mm. Il piano del tetto è irrigidito da croci di acciaio, mentre la stabilizzazione trasversale e longitudinale avviene per mezzo di elementi dì irrigidimento verticali.

1 Trave principale in lamellare 2 × 10/90
2 Arcareccio 10/16
3 Montante in lamellare 4 × 12/12
4 Montante in lamellare 21/21
5 Piastra chiodata s = 5 mm
6 Croce di connessione s = 14 mm
7 Vite calibrata ∅ 27 mm
8 4 × 4 connettori a disco chiodato ∅ 85 mm
9 Connettore ad anello ∅ 80 mm

Graticcio di travi posato liberamente su tutti i lati con disposizione diagonale

Andamenti dei momenti in linea di principio per la delimitazione perimetrale

$$\max M = q \cdot \frac{l^2}{14{,}2}$$

Andamenti dello sforzo di taglio in linea di principio per la delimitazione perimetrale

Caratteristiche:
- Distribuzione uniforme delle tensioni
- Sollecitazione a flessione irregolare (momenti negativi e positivi)
- Riduzione del momento massimo nel centro della campata
- Maggiore rigidezza rispetto al graticcio ortogonale e ai sistemi lineari

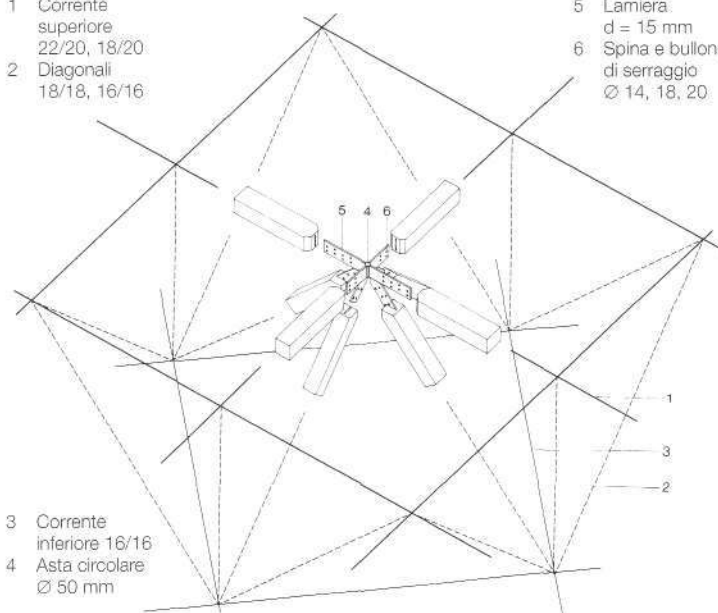
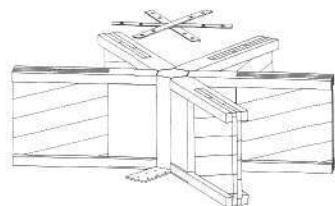
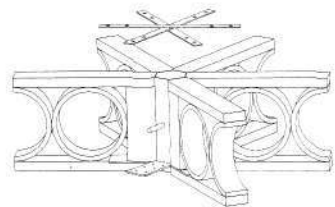
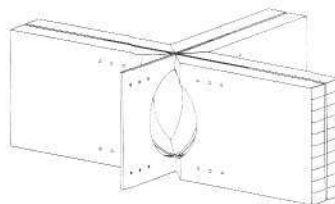
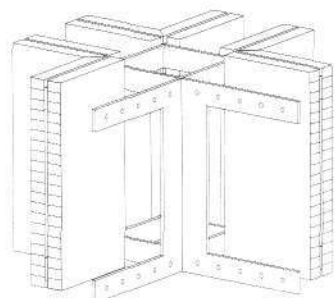
Disposizioni degli appoggi

agli angoli del telaio, montanti incastrati nel graticcio o nelle fondamenta

ai punti di incrocio del telaio-graticcio di travi, montanti incastrati nel graticcio o nelle fondamenta

ai punti di incrocio del graticcio di travi con aggetto, montanti incastrati nel graticcio o nelle fondamenta

come sopra per graticci di travi disposte diagonalmente, montanti incastrati nelle fondamenta o nel graticcio

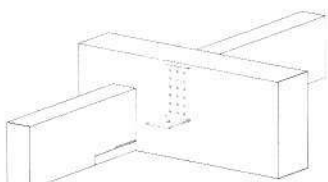
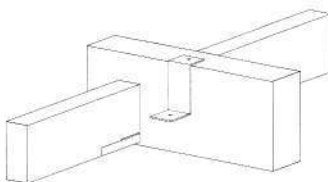
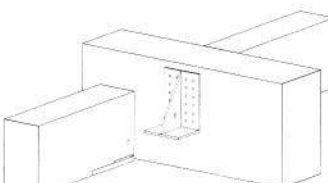
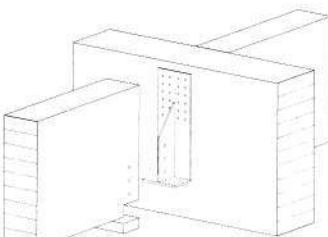
101 • Grande mensa

Volkach sul Meno, Germania; 1984

Architetti: Ufficio edile finanziario, Wùrzburg

Ingegneri strutturisti: Bertsche, Prackenbach, Hùbner, Wùrzburg

Graticcio di travi reticolari in lamellare su una sala mensa dell'alloggiamento per le truppe. Correnti superiori, montanti e diagonali in un reticolo quadrato con lati di 2,40 m. Altezza della struttura 2,10 m. I correnti inferiori passano sulle diagonali del reticolo di base. Gli appoggi sono collocati ogni 4,80 m su pilastri di cemento armato incastrati. Sporgenza per una lunghezza di retìcolo nella zona della facciata. Raccordi dei nodi con asta centrale circolare e piastre di acciaio saldate. Coprigiunti intagliati e fissati alle aste di legno con spine e bulloni di serraggio. Irrigidimento della lastra del tetto tramite il reticolo incrociato dei graticcio di travi e tramite l'incastro dei montanti. Tavole di legno spesse 5 cm sostengono il tetto ricoperto di ghiaia.

Nodi di graticci di travi con sezioni composte

Trave ad anima con rinforzo di connessione collegato con spine al profilo di metallo

Trave ad anello con rinforzo di connessione, profilo di metallo con coprigiunti e spine saldate

Travi gemelle con coprigiunto orizzontale in acciaio, cavità per l'installazione

Croce di lamiera di acciaio per travi multiple e installazioni con piastra chiodata e perni di cerniera

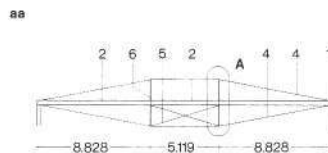
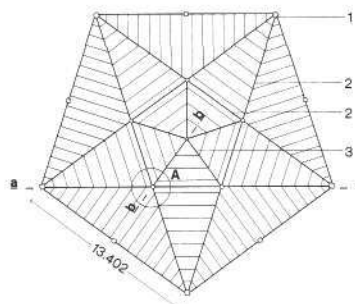
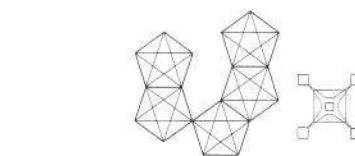
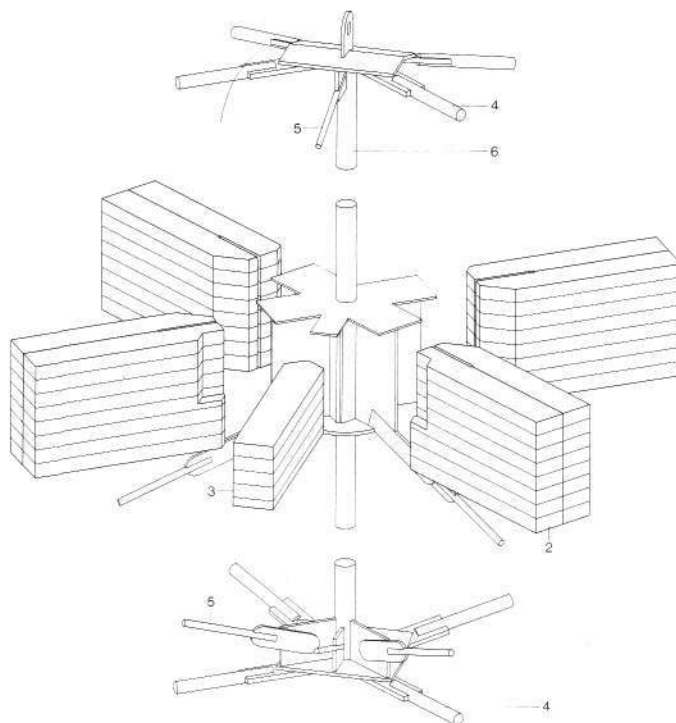
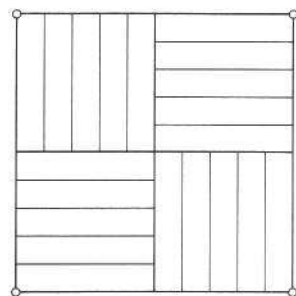
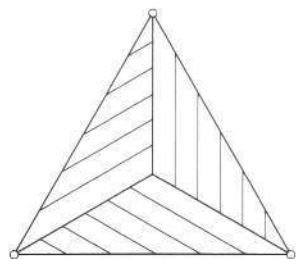
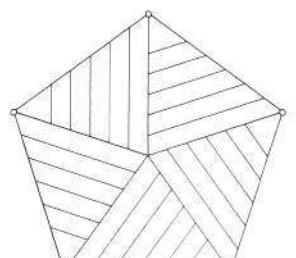
Appoggi rivestiti di sistemi di travi secondarie (protezione antincendio, protezione dalla corrosione)

Angolare chiodato

Profilo a Z montato, fissaggio in posizione tramite chiodi

Angolare con ala

Angolare con ala, inchiodato alla trave principale

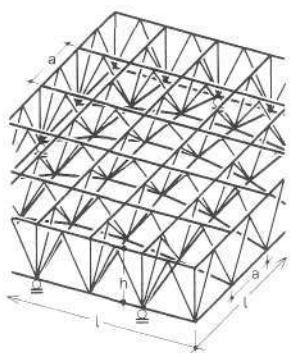
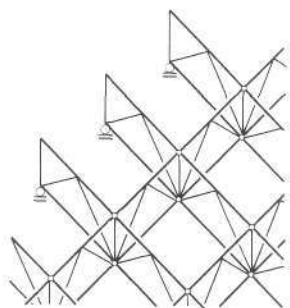
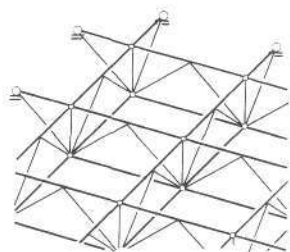
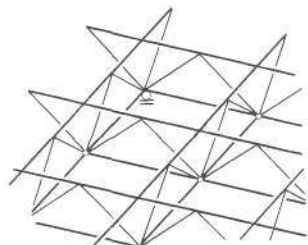
102 • Padiglione

Berlino, Germania; 1979

Architetti: Bavaria-Form-Team, Monaco

Ingegneri strutturisti: Sailer & Stepan, Monaco

In un periodo di tre mesi vennero costruiti complessivamente sette padiglioni simili. Le costruzioni del tetto circoscrivono un prisma regolare con lato lungo 13,40 m. Il sistema portante principale poggia su cinque montanti oscillanti e forma un graticcio di travi a stella composto da travi rinforzate inferiormente e superiormente da tensori. Il rinforzo superiore serviva non soltanto per fissaggio dai vortici di vento, ma consentiva nel contempo un montaggio preliminare e il sollevamento dell'intera costruzione con la gru. La stabilità orizzontale della lastra del tetto è garantita dalla forma triangolare del graticcio. L'irrigidimento delle pareti è formato da diagonali pretensionate.

1 Montanti 2 × 18/24 cm
2 Trave principale 2 × 10/35 cm
3 Trave centrale 12/20 cm
4 Tirante M 36
5 Tirante M 20
6 Tubo di acciaio 60,3 × 5,0

Sistemi secondari per cessione del carico uniforme al graticcio primario

Posizione di arcarecci ∡ = 90°

Posizione di arcarecci ∡ = 60°

Posizione di arcarecci ∡ = 72°

Varianti di appoggio di graticci reticolari

a = 1,20-12,0 m

$h = \frac{l}{8} - \frac{l}{16}$

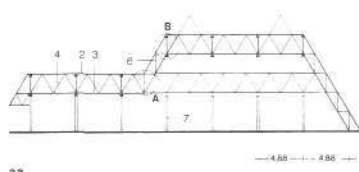
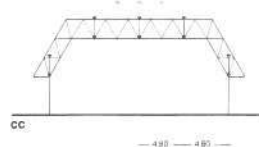
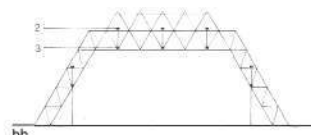
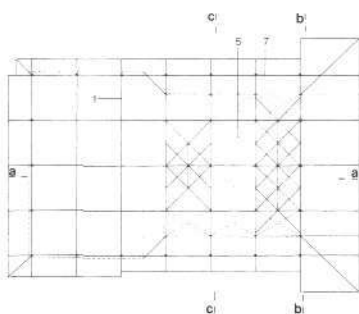
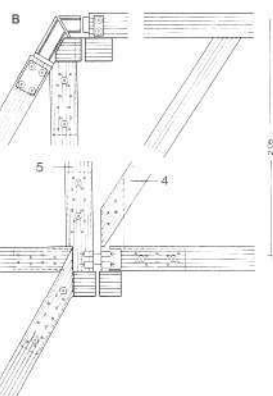
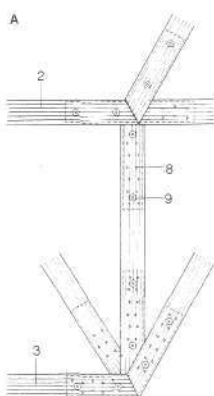
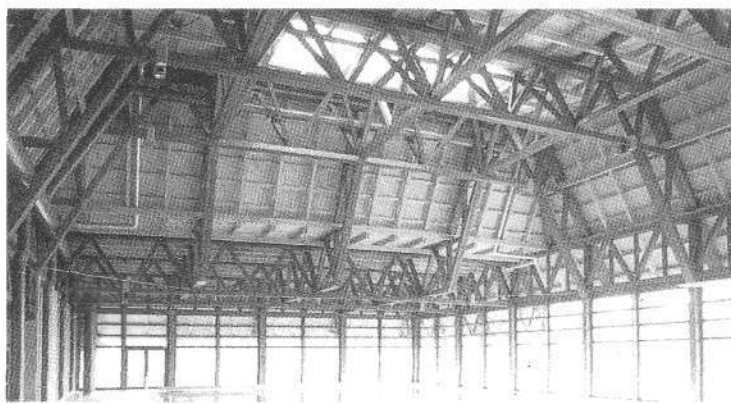
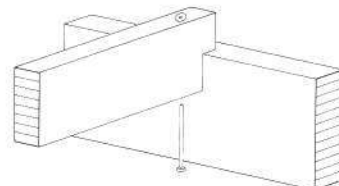
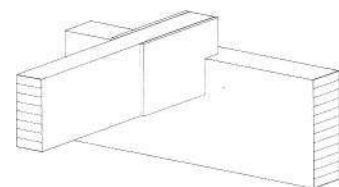
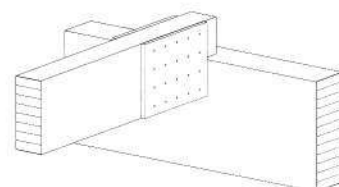
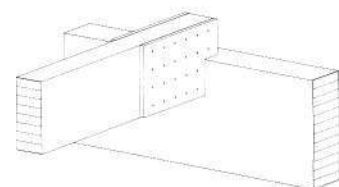
l = 8-60 m

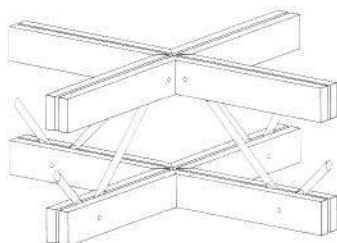
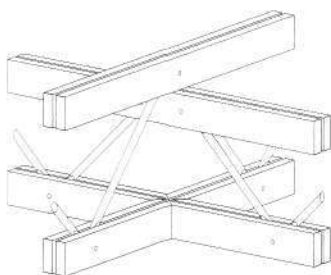
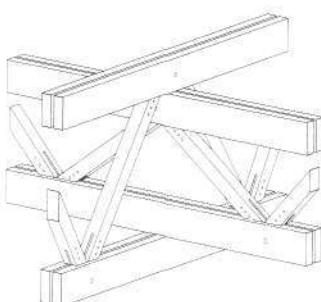
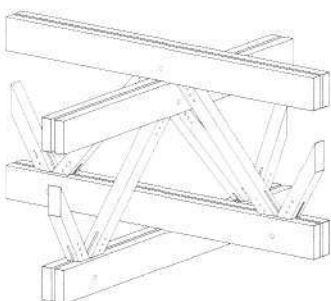
103 • Centro sportivo

Norimberga, Germania; 1980

Architetto: Ufficio ediie statale, Norimberga

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterer e Dittrich, Monaco

Un graticcio di travi reticolari nello spazic copre il complesso sportivo con palestra, sala per judo e piscina, che sono riunite in un unico edificio. Le travi principali disposte perpendicolarmente formano un reticolo quadrato di 4,80 x 4,80 m. Le travi reticolari con altezza di sistema di 2,05 m sono composte da correnti doppi in lamellare e diagonali semplici in lamellare. Le aste sono collegate nei punti nodali per mezzo di spine e coprigiunti di acciaio incastrati. I traversi sono posati più in basso di 18 cm rispetto alle travi longitudinali, in modo da avere correnti continui. A seconda del profilo spaziale delia luce e della forma del tetto i tralicci sono configurati come travi rettilinee su montanti oscillanti in lamellare oppure come travi di telaio piegate. Lo strato di arcarecci incrociati forma, insieme con le diagonali in legno e un tavolato di legno spesso 30 mm, una lastra del tetto rigida. Stabilizzazione complessiva per mezzo delle travi principali a forma a telaio e di controventi verticali posti tra i montanti di legno.

1 Trave principale
2 Corrente superiore in lamellare 2 × 16/18
3 Corrente inferiore in lamellare 2 × 14/18
4 Diagonale in lamellare 16/16
5 Elemento di irrigidimento in tondo di acciaio
6 Asta verticale in lamellare 2 × 9/20
7 Montante oscillante
8 Spina ∅ 12 mm
9 Bullone M 16

Appoggio di sistemi di travi secondarie con rinforzo da sollecitazioni di trazione trasversale sull'appoggio di trave secondaria-trave principale

Perno filettato incollato o vite da legno

Coprigiunto incollato

Coprigiunto di rinforzo chiodato oppure incollato e chiodato

Coprigiunto chiodato oppure incollato e chiodato, con contemporaneo ampliamento dell'appoggio

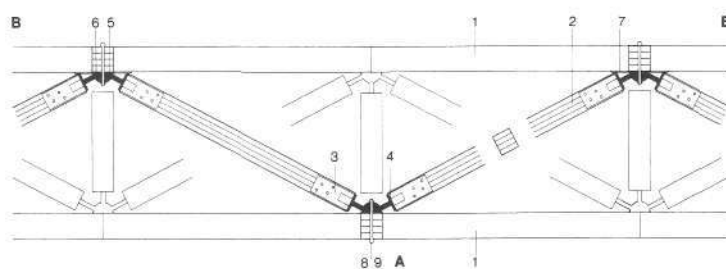
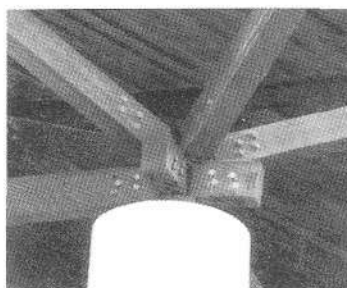
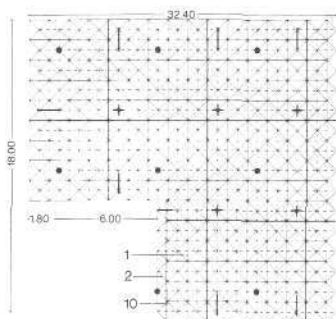
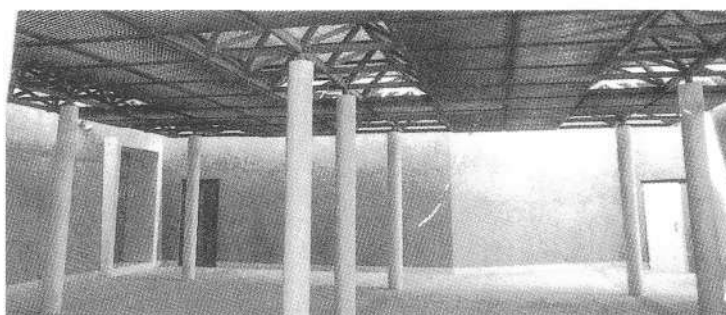
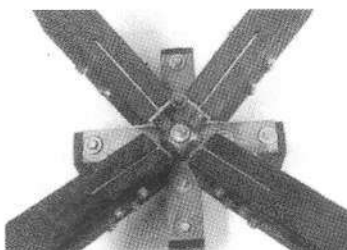
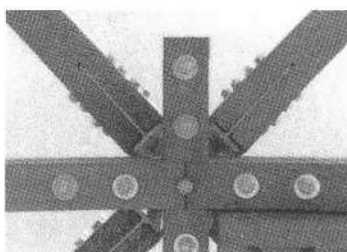
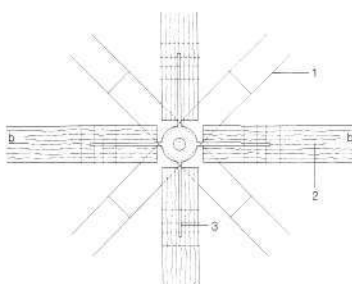
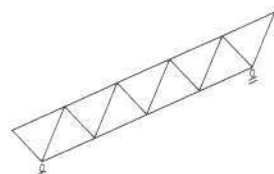
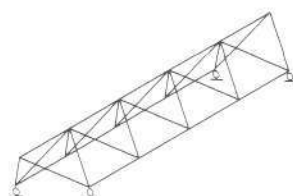
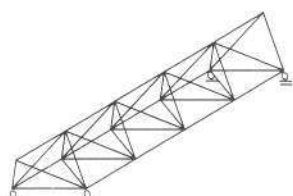
Nodi per graticcio reticolare

Correnti inferiori e correnti superiori sullo stesso piano, connessioni tramite croci di lamiera, diagonali in tubo di acciaio

Correnti superiori sullo stesso piano, corrente inferiore impilato, altezze di costruzione diverse con luci dissimili

Tralicci con altezze di costruzione diverse incastrati l'uno nell'altro, per piante rettangolari

Correnti superiori e inferiori impilati, altezze di costruzione uguali

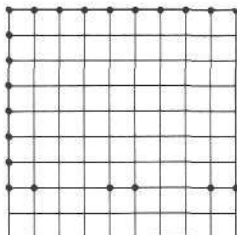
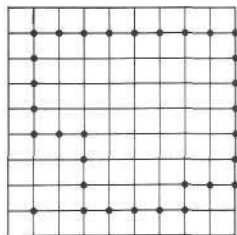
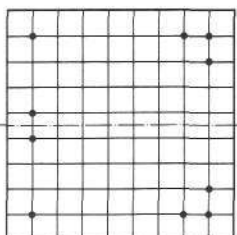
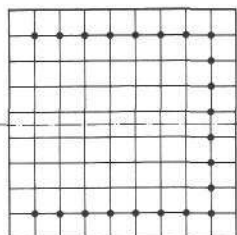
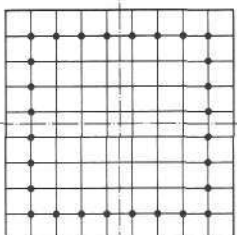
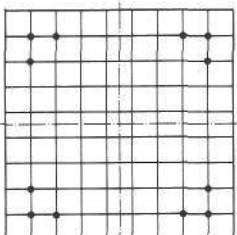
104 • Tettoia

Riyadh, Arabia Saudita; 1986

Architetti: High executive committee of the Kingdom of Saudi-Arabia

Ingegnere strutturista: M. Speich, Hannover

Tettoia per cortile interno di quattro moschee con una superficie complessiva di 1500 m^2. Costruzioni a struttura nello spazio in aste di legno incollate (quattro lamine, materiale: legno di iroko), staticamente indeterminati al massimo grado. Correnti superiori e inferiori continui per 6 m, con punti di incrocio a incastro in un reticolo quadrato di 1,20 m, spostati reciprocamente in pianta di 1/2 reticolo ognuno in direzione x e y. Connessione di quattro aste diagonali ai punti di incrocio dei correnti disposte simmetricamente. Altezza del sistema 60 cm. Diagonali collegate ai nodi di tipo Mero per mezzo di elementi sagomati in acciaio e viti calibrate. Le diagonali e i correnti continui sono collegati, a seconda della sollecitazione, con una vite calibrata oppure con croce di acciaio e vite calibrata (settore vicino ai montanti). Tetto.a in telai di legno sospesi nel piano del corrente superiore o inferiore.

1 Corrente superiore e inferiore 5/8
2 Puntoni 6/6,8
3 Elemento di acciaio 128/60/4 mm
4 Lastra di testa 60/44/6 mm
5 Testa di tipo Mero 60/54 mm
6 Rondella a U
7 Barra di ferro 50/6 mm
8 Bussola di serraggio 19/13 mm
9 Bullone

Reazione alla sollecitazione di graticci di aste nello spazio

non resistente alla torsione: la struttura portante è rigida solo nel piano del traliccio, mentre verticalmente ad esso è molto cedevole

senza diagonali nel piano del corrente inferiore: non resistente alla torsione, solo i nodi del corrente superiore possono assorbire le tensioni esterne che si generano nello spazio

con diagonali e traversi in tutti e tre i piani del traliccio: resistente alla torsione; tutti i nodi possono assorbire le tensioni che si generano nello spazio

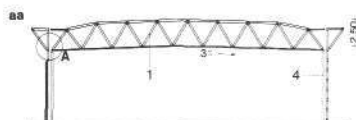
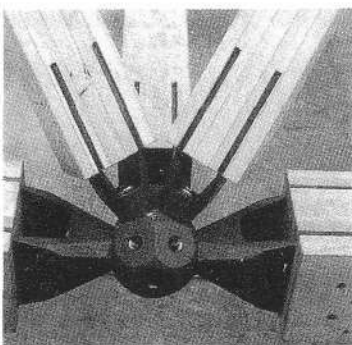
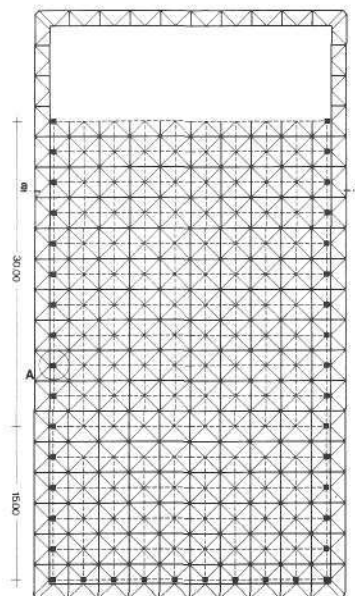
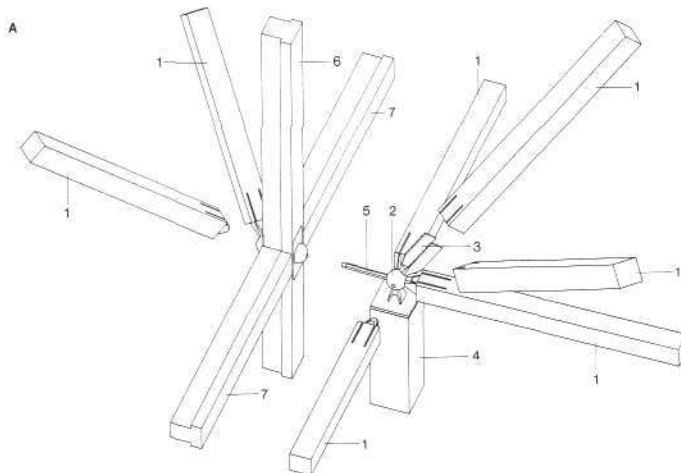
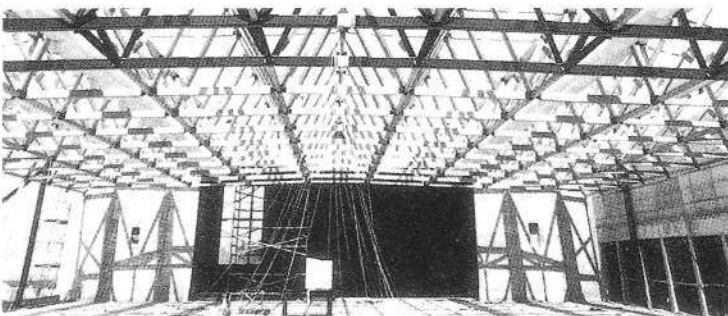
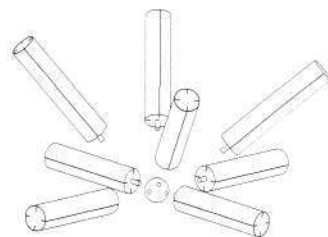
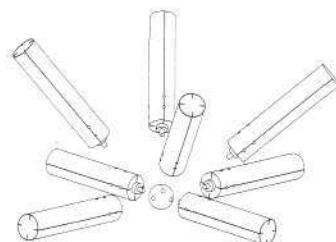
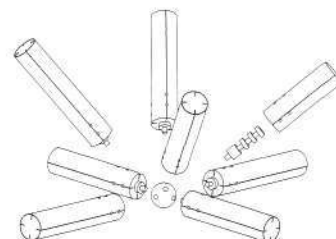
Varianti di appoggio per graticci ortogonali

Varianti di appoggi liberi

semisimmetrico

completamente simmetrico

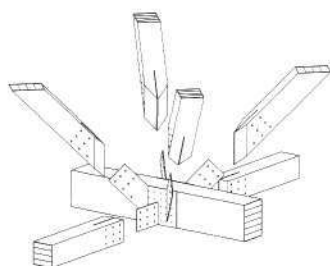
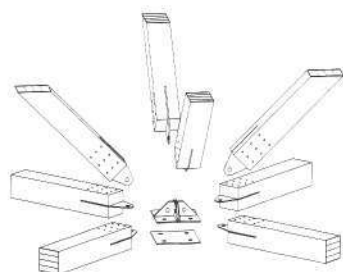
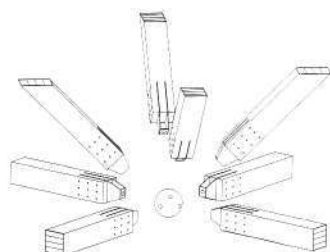
105 • Sala polivalente

Arbon, Svizzera; 1984

Architetto: R Haas, Arbon, Svizzera

Ingegnere strutturista:
Büro Wälli AG, Arbon/Rorschach, Svizzera

Sala polivalente di un centro per il tempo libero presso il lago di Costanza. Il sistema portante del tetto ha la forma di struttura reticolare nello spazio ed è suddiviso da una trave integrata in acciaio in due campate portanti di 27 x 30 m e 27 x 15 m. L'ampiezza di maglia della struttura è di 3 m e l'altezza di costruzione è dì 2,5 m. Essa poggia su montanti di acciaio. Pareti in cemento armato nel piano terra e nel piano sotterraneo svolgono il compito di stabilizzare l'edificio. A seconda del carico la sezione e il tipe di legno delle aste varia (abete rosso o faggio). Collegamento delle aste per mezzo di elementi sagomati di ghisa e sfere di acciaio con filetti interni. Copertura del tetto con ghiaia.

1 Asta reticolare 11/11-17/17
2 Sfera di acciaio con filetti interni
3 Elemento sagomato di ghisa
4 Montanti di acciaio
5 Asta esagonale filettata
6 Montanti di facciata
7 Traverso di facciata

Connessioni di aste nello spazio

Perni filettati incollati e sfera di metallo

Tubi intagliati, incavicchiati radialmente e sfera di metallo (sistema Mero)

Sfera di metallo con tasselli a serraggio (sistema Bertsche)

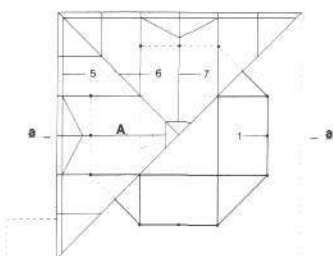
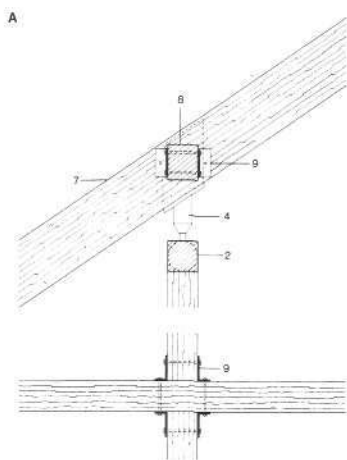
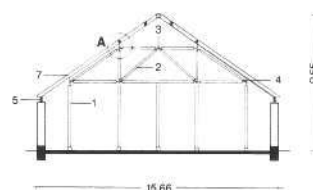
Connessioni di aste nello spazio

Nodi in lamiera di acciaio intagliata e corrente continuo

Nodi in lamiera di acciaio intagliata, corrente inferiore ruotato di 90°, diagonali di 45°

Nodi in profilo di ghisa incavicchiato e sfera di metallo

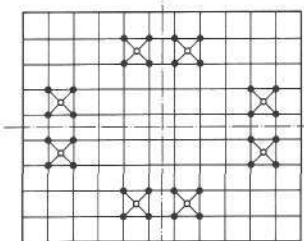
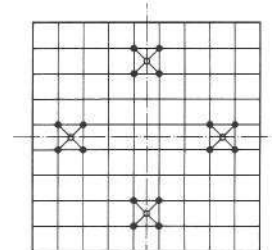
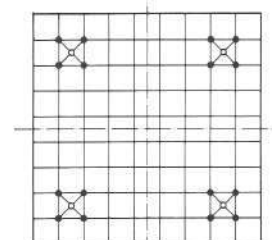
106 • Sala per celebrazioni

Reutlingen, Germania; 1986-87

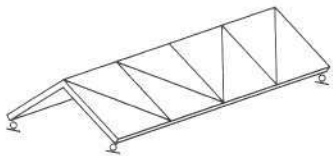
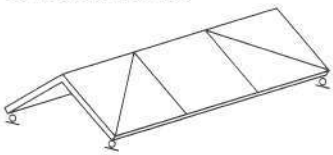
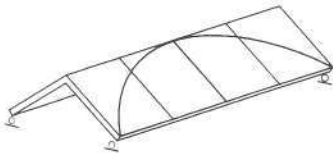
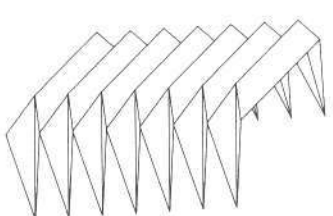
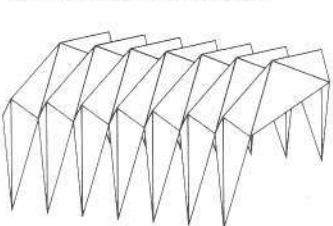
Architetto: W. Riehle, Reutlingen

Ingegnere strutturista:
N. Nebgen, Reutlingen

Struttura lignea reticolare nello spazio per un tetto a piramide con pianta quadrata, lati lunghi 15,60 m. Quattro travi principali trapezoidali si incrociano formando una struttura nello spazio composta da puntoni 12/12 cm, che sono collegati tramite nodi di tipo Mero. Trasmissione delle forze per mezzo di tubi di acciaio incastrati, che sono incavicchiati con il legno. Montanti oscillanti in lamellare assorbono le tensioni verticali. I puntoni angolari e i puntoni intermedi sono collocati nei punti nodali dei correnti superiori e collegati alle estremità ad arcarecci di gronda In lamellare.
Le tensioni orizzontali vengono cedute ai montanti di facciata in cemento incastrati.
Struttura del tetto: copertura doppia di tipo Biberschwanz, soffitto, controsoffitto e perlinatura.

1 Montante ottagonale 18/18
2 Aste reticolari
3 Nodi di tipo Mero
4 Mensola per appoggio dei travetti
5 Arcareccio di gronda in lamellare 12/22
6 Puntone d'angolo in lamellare 16/24
7 Puntone intermedio in lamellare 12/22
8 Traverso in lamellare 12/14
9 Angolare 106/56/6 mm

Varianti di appoggi per graticci ortogonali

Appoggio su quattro punti per montante in caso di sforzo di taglio massimo

Varianti di esecuzione

con metodo di costruzione ad anima o scatolare

come struttura ad aste

come struttura reticolare

come struttura reticolare ad arco

come struttura corrugata a telaio

come struttura corrugata da dimensionare con:

$f \geq \frac{l}{8}$; $\measuredangle \geq 30°$ $d \geq \frac{h}{20} - \frac{h}{30}$

per pannelli ad anima, legno lamellare *o pannelli multistrato con nervature* trasversali come sezioni composte per flessione trasversale

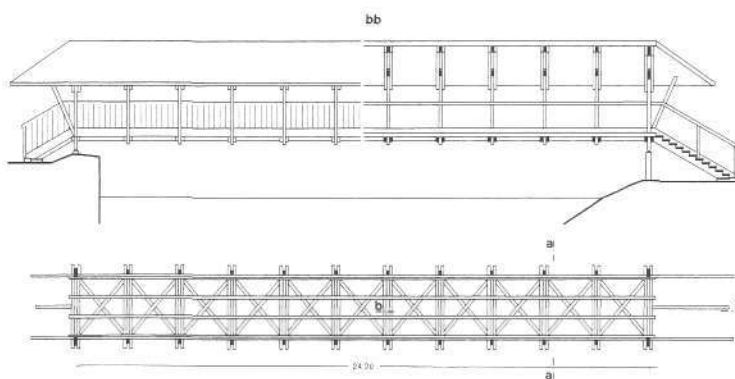
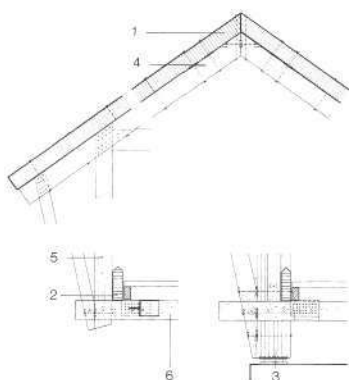
$d \geq \frac{l}{4} - \frac{l}{6}$

per struttura reticolare

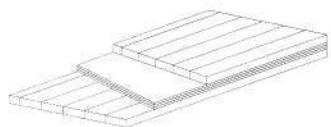
107 • Ponte coperto

Amberg, Germania; 1978

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterer e Dittrich, Monaco

il ponte pedonale coperto con luce di 24 m possiede come sistema portante principale un struttura corrugata composta da due lastre di lamellare reciprocamente inclinate, che si trovano nel piano del tetto. L'impalcato è sospeso. Telai trasversali con ritti liberi convogliano i carichi verticali nel piano del tetto e assorbono nel contempo le tensioni orizzontali nel controvento di irrigidimento inferiore. I telai sopra l'appoggio di estremità cedono i carichi delle travi reticolari alle fondamenta. L'impalcato consiste in un tavolato spesso 6 cm composto da travi longitudinali continue sostenute da un traverso ogni 2,2 m. Le travi di estremità In lamellare formano il controvento orizzontale con diagonali di legno incrociate. L'irrigidimento in direzione longitudinale avviene tramite l'effetto telaio risultante dal collegamento della lastra del tetto con i ritti liberi sugli appoggi.

1 Lamellare 17/295
2 Lamellare 10/36
3 Lamellare 14/36
4 Legno di conifere 2 × 12/20
5 Legno di conifere 12/18
6 Legno di conifere 2 × 12/20

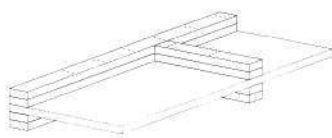
Pannelli per strutture corrugate

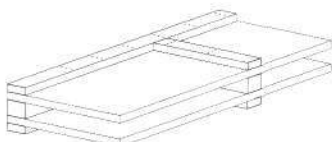
Pannello di compensato

Pannello di tipo Poppensieker con strati di tavole e strati di sfogliato incollati

Pannello multistrato con almeno tre strati di tavole incollati, direzione della fibratura ruotata di 90°

Pannello ad anima con almeno tre strati di tavole, direzioni della fibratura dello strato centrale incollata ruotata di 8-12°

Pannello di lamellare

Struttura di pannelli nervati per strutture corrugate

come sezione a T con anima, correnti e pannelli di compensato

come sezione scatolare con pannelli di compensato ed elementi di legno intermedi

come sezione scatolare con doppia anima in pannelli di compensato

come sezione a T con legni squadrati e tavole diagonali

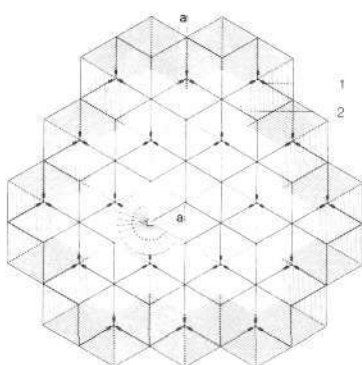
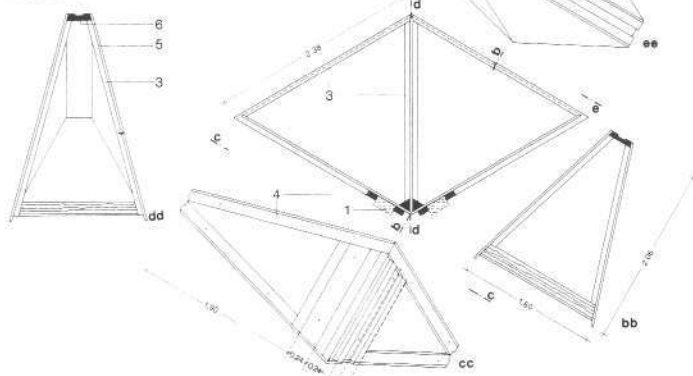
come sezione a T con tavole incrociate

108 • Mensa del villaggio del fanciullo

Leuk, Svizzera; 1971

Architetti: H. e R Wenger, Briga, Svizzera

Ingegneri strutturisti: H.-H. Gasser, Lungern, Svizzera

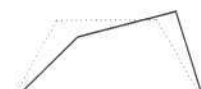
La costruzione di solaio e tetto di una mensa è stata realizzata con elementi corrugati prefabbricati. Montanti di legno tripli coprono due piani, sostenendo un esagono sporgente a forma di fungo con lunghezza di base di 2,38 m. Ogni esagono è formato da tre elementi scatolari fabbricati in officina, che in pianta rappresentano un parallelogramma. Un modulo è composto da lastre inchiodate in pannelli di fibra di legnc spessi 15 mm, irrigiditi con listelli e incollati. Tramite il corrugamento risultano elementi di forma rigida che vengono collegati tra di loro in modo resistente allo scorrimento con una cornice. Il solaio a fungo sporge liberamente all'estremità e consente una facciata priva di montanti. Irrigidimento orizzontale tramite effetto lastra, convogliamento verticale delle forze del vento tramite i montanti incastrati.

1 Montanti in legno massello 3 × 12/24
2 Elemento scatolare
3 Listello 6/6
4 Listello 6/12
5 Pannello di fibra di legno d = 15 mm
6 Cavità per cornice di collegamento

Possibili deformazioni

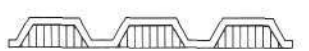
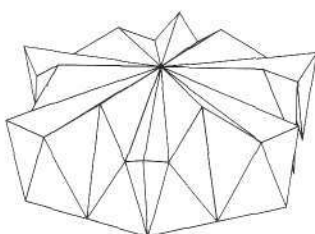
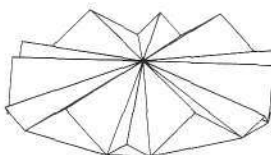
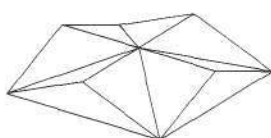
con carico unilaterale di neve e vento

Dimensionamento semplificato secondo la teoria a istogramma, superfici inclinate come soletta nervata, con esecuzione rigida degli angoli come sistema continuo

Pressoflessione di una lastra

Pressoflessione di entrambe le lastre

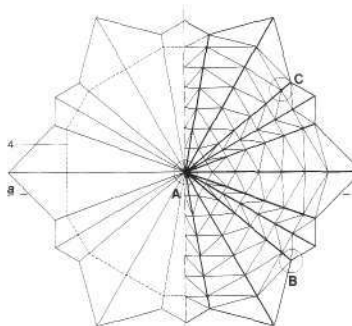
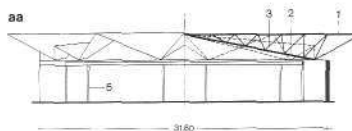
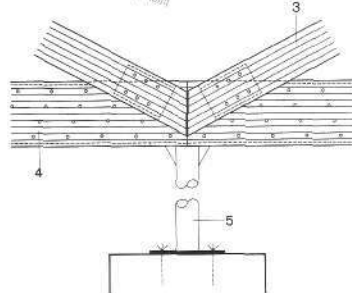
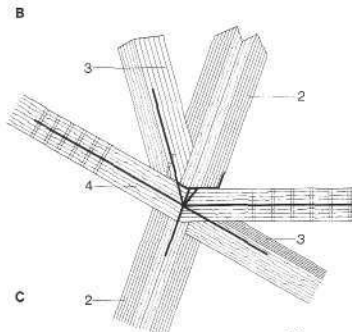
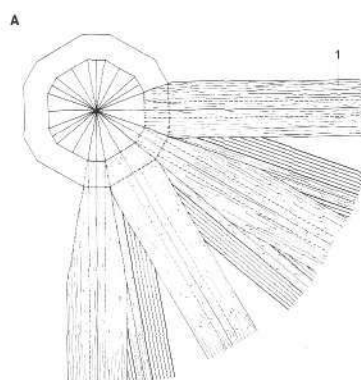
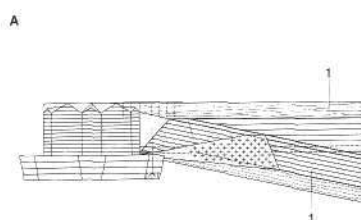
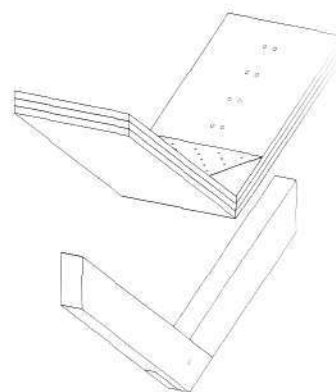
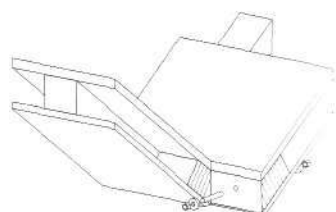
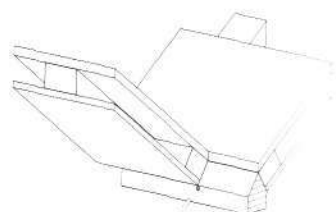
Spostamento degli spigoli inferiori

Variazione dell'angolo di piegatura

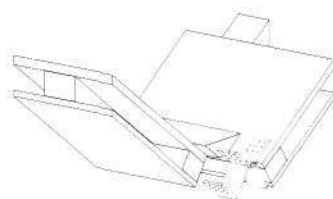
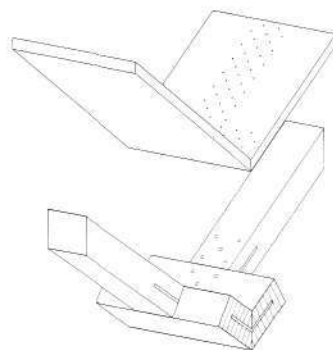
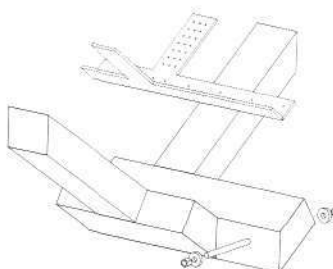
Forme di struttura corrugata con campate di irrigidimento

Forme di struttura corrugata con disposizione radiale

109 • Padiglione della clinica Hartwald

Zwesten, Germania; 1977

Architetti:
A. Frank, Bauabteilung W. Wicker KG

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterere Dittrich, Monaco

Padiglione polivalente con pianta esagonale e diametro di 32 m, coperto da una costruzione radiale con tetto corrugato. Lastre del tetto lìbere in strutture reticolari triangolari, i cui correnti e aste sono in lamellare 14/24 e 18/24 cm. Un anello teso in lamellare assorbe lo scorrimento orizzontale dei carichi verticali. Le tensioni dei carichi orizzontali vengono convogliate da lastre di cemento. Montanti di acciaio disposti a coppie al centro delia facciata sostengono la costruzione del tetto. Le connessioni sono realizzate con lamiere intagliate e staffe di acciaio, collegate con chiodatura coperta o con spine. Un nucleo in lamellare forma il nodo di colmo. Il tetto è sostenuto da un tavolato dì soffitto appoggiato su travi reticolari.

1 Corrente superiore in lamellare 14/24
2 Corrente inferiore in lamellare 2 × 14/24
3 Diagonale in lamellare 14/24
4 Tirante in lamellare 20/24
5 Montanti in tubo di acciaio Ø 216 mm

Giunti di lastre di struttura corrugata

Nervatura trasversale disposta sul giunto, su di essa vengono inchiodati pannelli ad anima o pannelli di sfogliato. Nervatura in direzione longitudinale anch'essa chiodata

Nervature longitudinali della trave scatolare incavicchiate oppure chiodate o avvitate

Nervature longitudinali incavicchiate alla catena

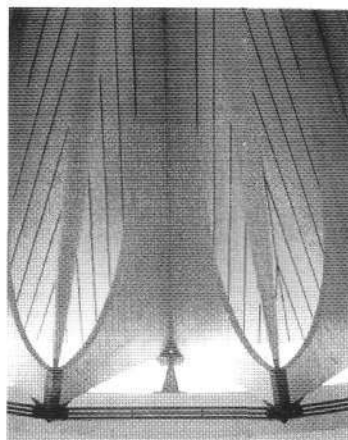
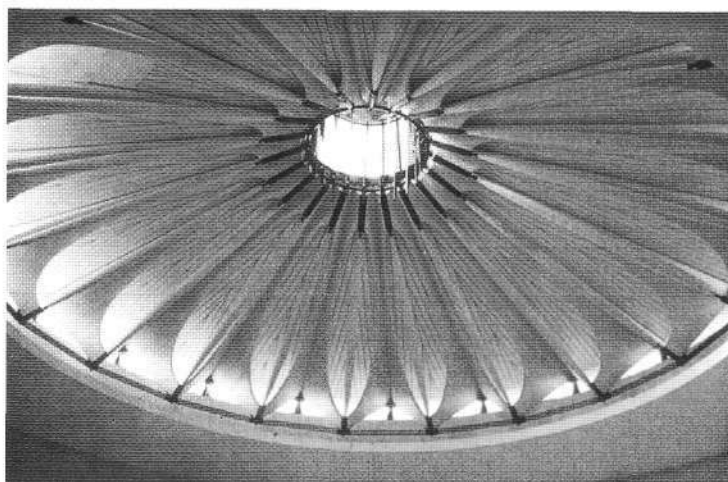
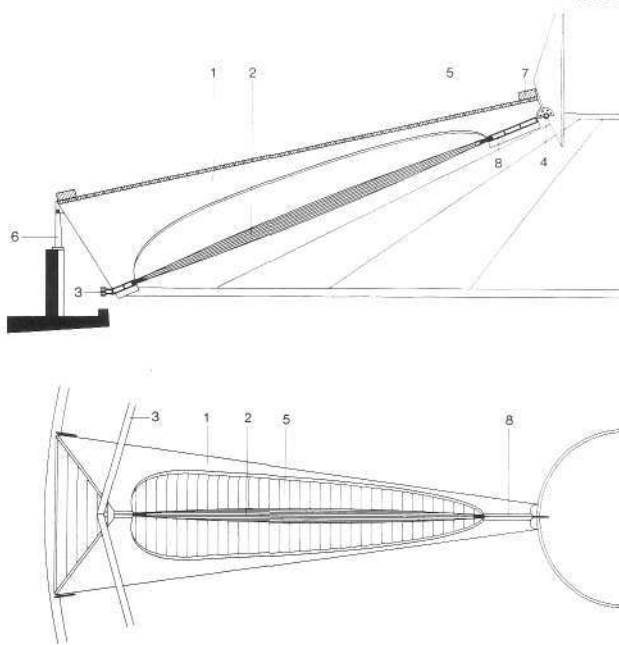
Giunti di lastre di struttura corrugata

con profili a U e cerniera saldata, piegabile per il trasporto

con lamiera chiodata intagliata

con coprigiunti di lamiera chiodati

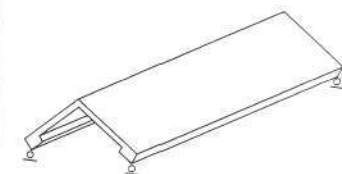
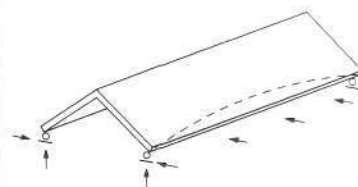
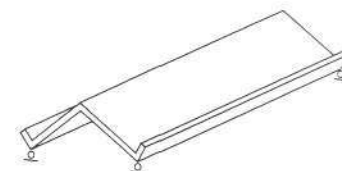
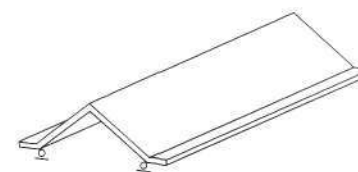
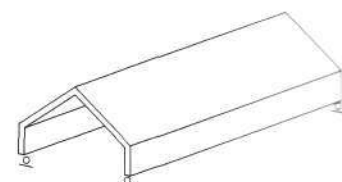
110 • Salone di ingresso della scuola

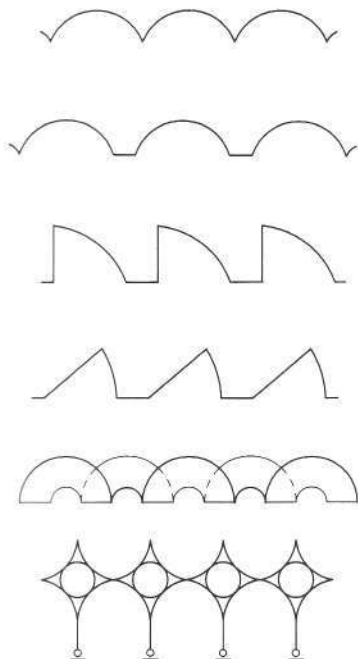
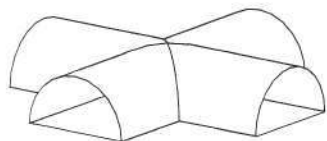
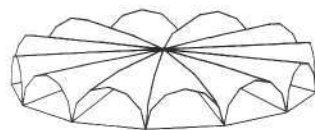
Wohlen, Svizzera; 1987

Architetti: Burkhard, Meyer, Steiger, Baden

ingegneri strutturisti: S. Calatrava, Zurigo
U. Schaffner e associati AG, Wohien

La struttura corrugata a cupola del salone di ingresso con un diametro di 13 m è composta da venti elementi prefabbricati a forma di V, che sono collegati a un anello centrale nel colmo e poggiano su montanti di metallo ancorati in una trave di estremità in acciaio. Gli angoli degli elementi sono posti nella zona di gronda. Due lastre in lamellare reciprocamente inclinate e ritagliate in modo circolare formano, insieme con il tavolato a vista avvitate del piano del tetto, un modulo scatolare triangolare. Un'asta di legno conica doppia rinforza il profilo ed è collegata con tubi di acciaio al bordo inferiore della lastra di lamellare. L'irrigidimento del piane del tetto avviene per mezzo del tavolato di legno superiore.

1 Tavola in lamellare 6 cm
2 Tirante in lamellare Ø 5-18 cm
3 Anello di fissaggio dalla trazione in barra di acciaio 3 × 10/40 mm
4 Anello di acciaio Ø 70 mm
5 Tavolato misto con travi a V
6 Montanti di metallo incastrati
7 Travi tese 10/16
8 Angolare di acciaio

Irrigidimento contro la deformazione critica del bordo esterno

in seguito a carico unilaterale e uniforme

Irrigidimento di estremità nel piano del pannello

Travi di estremità perpendicolari al piano del pannello

Travi di estremità come sostegno orizzontale

Travi di estremità come sostegno verticale

Forme di volte a botte e *shed* a botte

Silo conici, a tronco di cono e cilindrici

Volte disposte a crociera

Semivolte coniche a disposizione radiale

$b < \frac{l}{5}$ Volta a botte lunga $f \leq \frac{b}{2}$

$b > \frac{l}{5}$ Volta a botte corta $f \geq \frac{b}{2}$

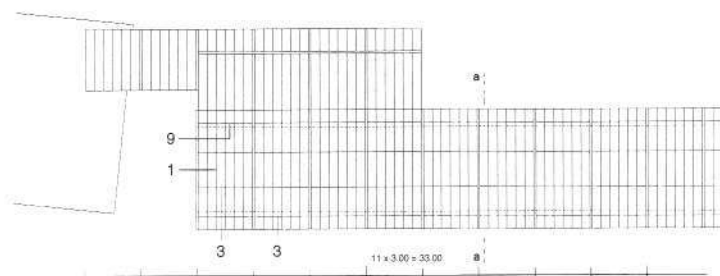
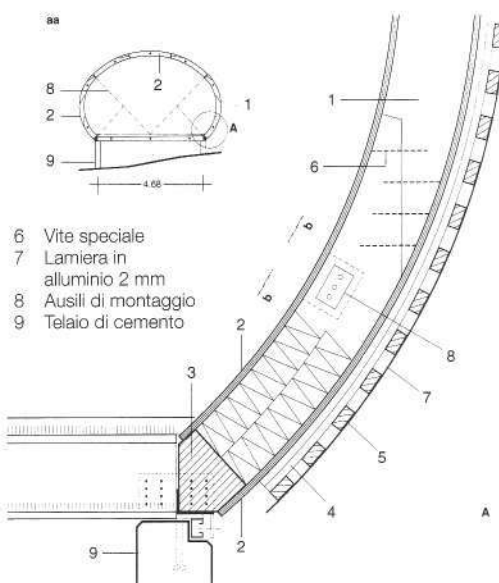
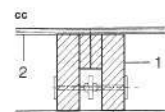
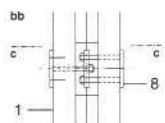
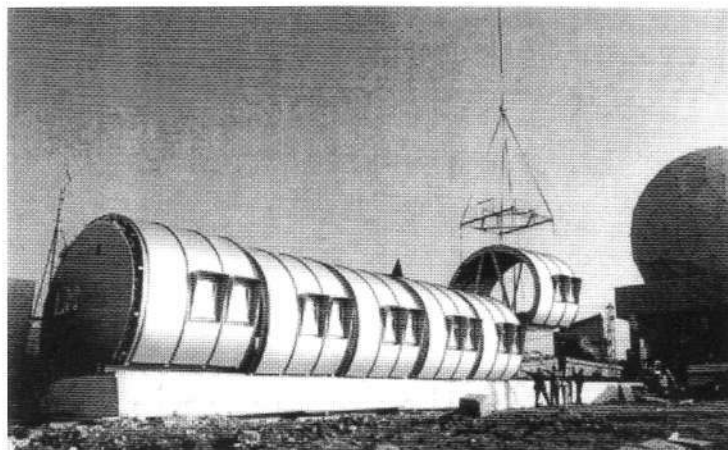
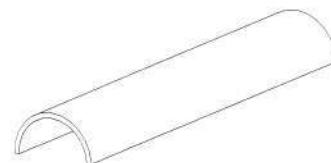
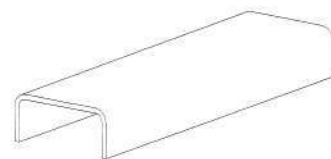
l = 5-35 m

111 • Osservatorio

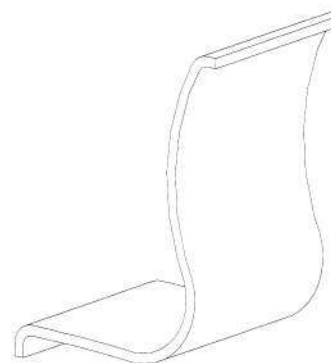
La Dôle, Svizzera;1992

Architetto: Vincent Mangeat, Nyon

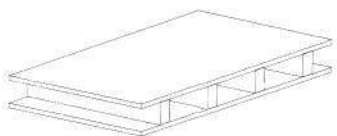
Ingegneri strutturisti: Natterer Bois-Consult, Etoy e Wolfgang Winter, Biel

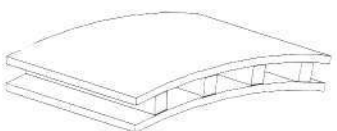
Osservatorio in montagna con appartamenti e locali di una stazione radar. Condizioni critiche a seguito della posizione a un altezza di 1670 m con forti tempeste di vento, senza stradedi accesso e tempo di montaggio molto limitato. La struttura è composta da 9 unità, ognuna da 3,7 t con dimensioni di 3 x 6,5 x 4 m e moduli di collegamento agli edifici già esistenti. Prefabbricazione e premontaggio degli elementi in officina, quindi trasporto con autocarro a pianale ribassato ai piedi del monte e con l'elicottero fino alla cima. Ogni unità con una larghezza di 3 m è composta da costoloni di legno massello, che sono stati collegati con viti speciali. Rivestimento multistrato delle volte in panneili di materiale a base di legno incollati e ricurvi. 2 strati di pannelli OSB (vedi p. 49) da 6 mm e 3 strati di pannelli di fibre dure da 1,2 mm alternati. Sul lato esterno controlistellatura e copertura con lamiera di alluminio. La stabilità viene garantita dalla forma delle volte a botte e dalla resistenza allo scorrimento della struttura a 2 strati, resistente alia flessione. Il guscio di legno e la costruzione del pavimento di legno sono state fissate a un telaio di cemento.

1 Costolone in legno di conifere 6/20
2 Pannellatura ricurva in pannelli di materiale a base di legno, incollati
3 Elemento ligneo di base
4 Controllistellatura 2 x 2/4
5 Listellatura in legno di conifere 3/6
6 Vite speciale
7 Lamiera in alluminio 2 mm
8 Ausili di montaggio
9 Telaio di cemento

Forme di legno multistrato

Volta a botte

Volta rettangolare, sezione stretta

Volta rettangolare, sezione larga

Volta a curvature multiple

Forma a sedia

Pannelli nervati

Costoloni di legno a sezione quadrata su pannelli di compensato chiodati da un lato oppure incollati e rinforzati con chiodi

con pannelli di compensato su entrambi i lati, chiodati e incollati

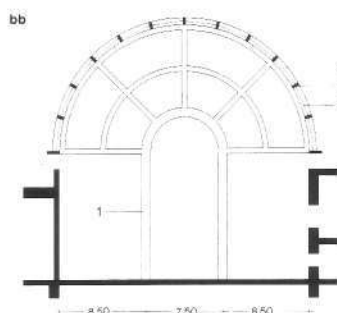
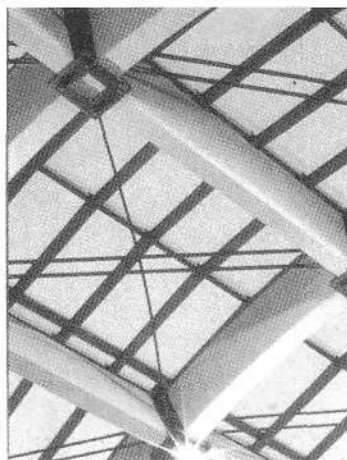
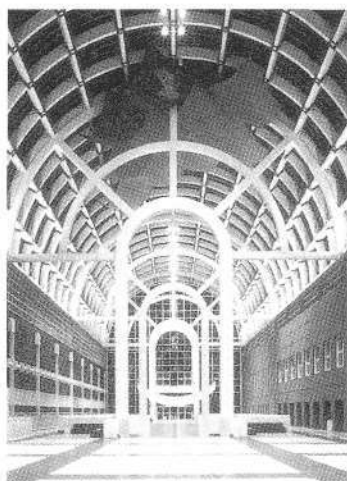
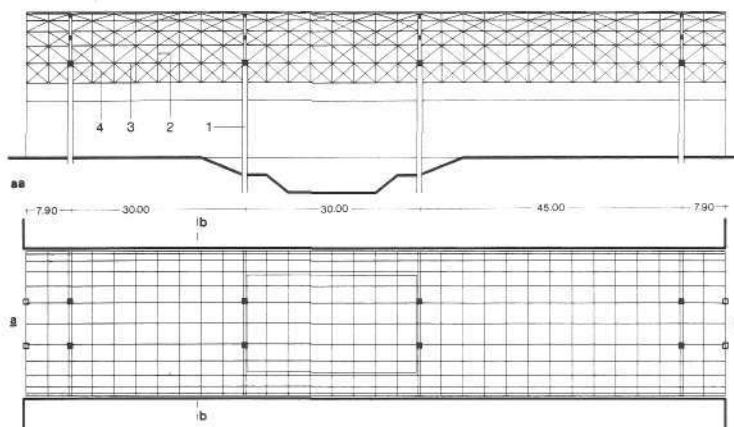
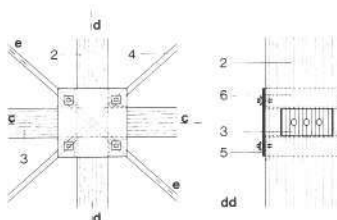
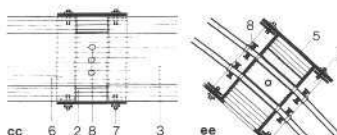
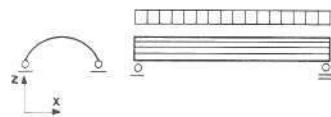
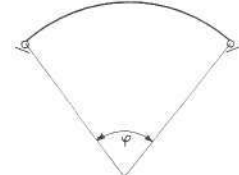
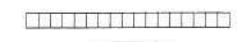
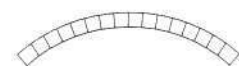
Graticcio di costoloni di legno a sezione quadrata curvati in una direzione, con pannellatura su un lato

con pannellatura sui due lati, a curvatura semplice

112 • Galleria del quartiere fieristico

Francoforte sul Meno, Germania; 1980-83

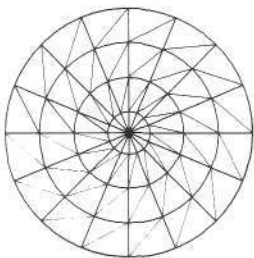
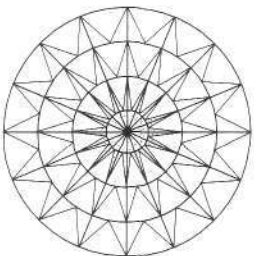
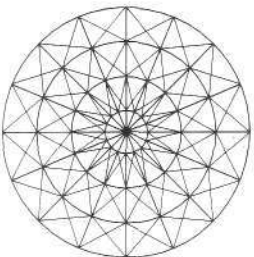
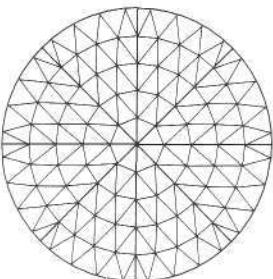
Architetto: O.M. Ungers, Francoforte sul Meno

Ingegneri strutturisti: S. Polónyi, H. Finfc Colonia

La volta a botte in struttura ad aste lunga 120 m con sezione a semicerchio copre la galleria di collegamento di due padiglioni fieristici, senza caricare sulle loro fondamenta. Portali di acciaio ad arco servono da appoggi e per l'irrigidimento della volta a botte, che è composta da archi trasversali 25/67 cm in lamellare, travi longitudinali 23/41 cm in lamellare e diagonali di tondino d'acciaio. I punti di incrocio sono conformati in modo tale che gli archi si compenetrano in un piano con gli arcarecci e le diagonali. Sezioni principali delle travi longitudinali spinte attraverso aperture segate degli archi, diagonali inserite nei punti di incrocio. Trasmissione delle forze tra legno e diagonali per mezzo di attrito tramite una fune di acciaio in profili angolari e piattebande. Collegamento ai portali di acciaio per mezzo di croci di lamiera saldate e coprigiunti di lamiera. Traverse di acciaio piegate sostengono una vetrata priva di stuccature.

1 Portale in acciaio
2 Arco di lamellare 25/66
3 Trave longitudinale in lamellare 23/41 + raddoppio 2 × 23/13
4 Tirante in acciaio
5 Piattabanda d = 25 mm
6 Angolare d = 15 mm
7 Vite esagonale M 24
8 Bullone Ø 42

Sforzo di taglio nella direzione longitudinale della volta

Sforzo di taglio nella sezione trasversale della volta con ripartizione lineare delle tensioni

Tensione normale nella sezione trasversale

Ripartizione dello sforzo di taglio sull'appoggio

Flessione trasversale in seguito a carico uniformemente distribuito

Classificazione di cupole nervate

Nervature radiali, campate trapezoidali *composte con diagonali*

Nervature radiali, campate trapezoidali, disposte a K

Costoloni radiali, campate trapezoidali disposte a croce

Costoloni radiali con lamelle

113 • Cupola geodetica

Massachusetts, Stati Uniti; 1954

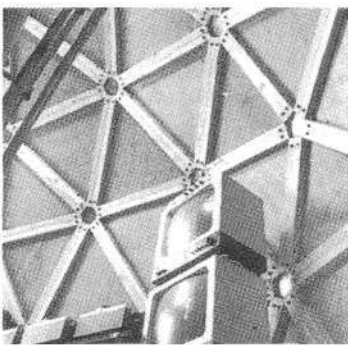
Architetto: G. Peterson

Ingegneri strutturisti:
R. Buckminster Fuller, Milton, MA

Questo ristorante è uno degli esempi di cupole geodetiche sviluppate da R. Buckminster Fuller negli anni cinquanta. Le sue prime opere geometriche si basano su triangoli sferici formati da linee a curvatura semplice incrociate. L'impalcatura di aste in questo caso è formata da aste di legno. Le faccette romboidali sono irrigidite da triangoli di aste incrociate e sovrapposte, così da consentire una copertura trasparente delle faccette grazie alle maglie strette.

Esempio: cupola geodetica

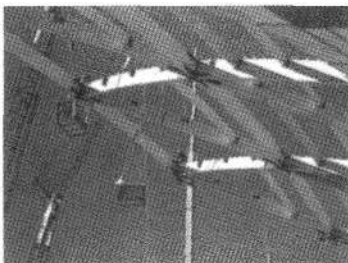
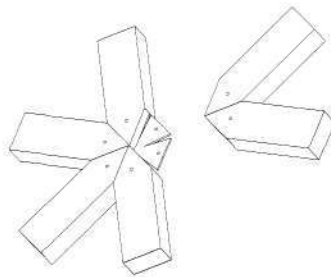
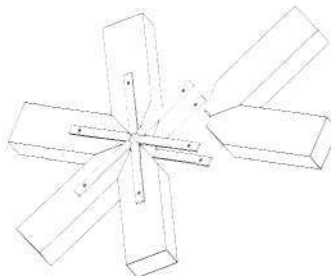
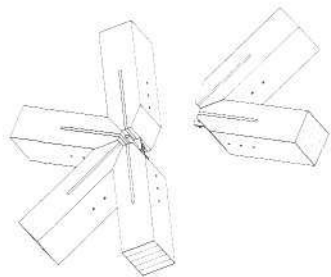
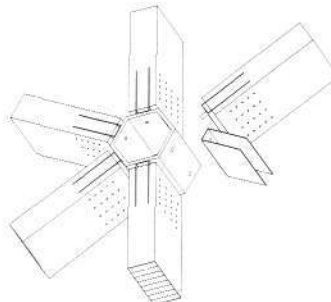
Monaco; 1972

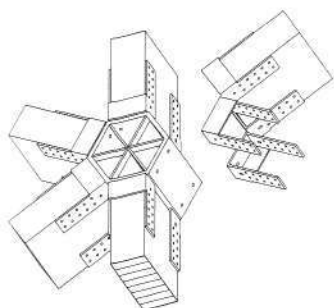
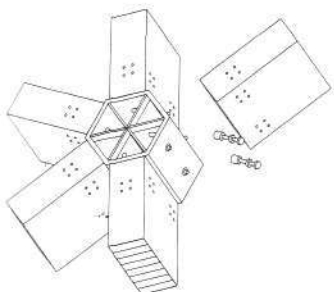
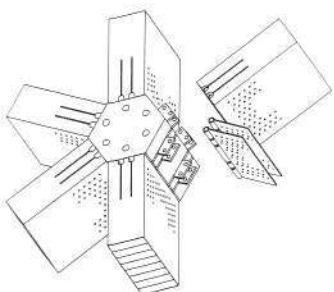
Sviluppo della forma secondo Fuller sulla base dell'icosaedro.

114 • Palazzetto dello sport

Tacoma/Washington, Stati Uniti; 1982

Architetti: McGranahan Messinger Associates, Tacoma, Stati Uniti

Ingegneri strutturisti:
Wendell, Rossman, Phoenix, Stati Uniti

Per il padiglione destinato a palazzetto dello sport e sala da concerto con un massimo di 26.000 posti per gli spettatori è stata scelta una cupola in reticolato di legno secondo il principio del "Varax-Domes", già adottato in precedenza per il padiglione dell'università di Flagstaff in Arizona. Il settore sferico ha un diametro di 161,5 m, un'altezza di cresta di 48 m ed è fissato a un anello di cemento armato pretensionato che assorbe lo scorrimento orizzontale. I costoloni principali in lamellare, alti 76 cm formano un reticolo di faccette triangolari con lunghezza di asta di 15 m circa. I componenti triangolari prefabbricati vengono montati partendo dall'appoggio e andando fino al centro. Sei aste sono collegate in modo resistente a flessione in un nodo di acciaio esagonale. Travi in lamellare ad andamento anulare formano il sistema secondario, sul quale è applicata una perlinatura spessa 5 cm. La copertura del tetto è composta da uno strato di catrame con isolamento in poliuretano.

Nodi di cupole reticolari

Lamiera intagliata incavicchiata al costolone

Tubo di acciaio con coprigiunti in acciaio posti sopra e sotto

Pannello ad anima intagliato con mensola di articolazione

Nodi di acciaio con ali di lamiera a U avvitate

Nodi di cupole reticolari

Profilo di acciaio irrigidito con coprigiunti di acciaio avvitati

Profilo di acciaio irrigidito con tassello a serraggio (sistema Bertsche)

Nucleo di legno duro con ali intagliate, lamiera intagliata con tubo di collegamento (sistema Blumer)

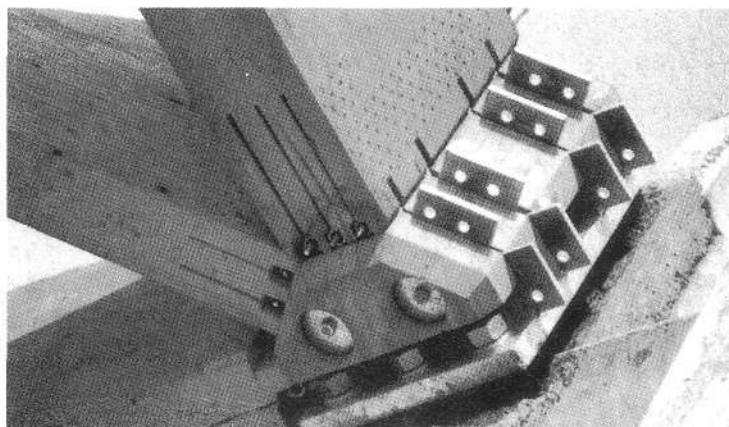
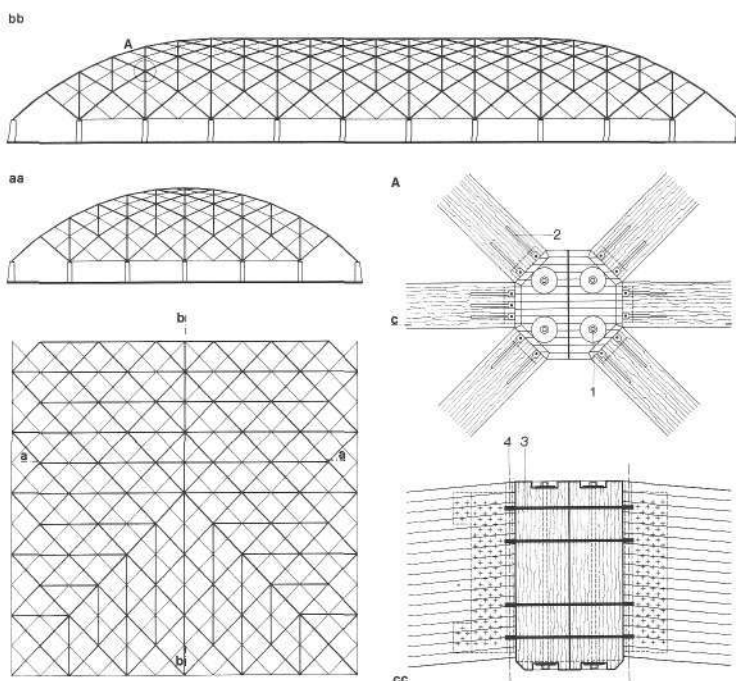
115 • Padiglione fieristico

Bruxelles, Belgio; 1988

Architetto:
J. van Pottelsberghe de la Potterie

Ingegneri strutturisti:
A. van Wetter, Bruxelles, Dr. Waldner AG e Blumer AG, Herisau, Svizzera

Il padiglione della fiera di Bruxelles, largo 74 m e lungo 141 m, è eseguito come reticolo a volta cilindrica con tetti a due falde su timpano. Gli archi principali sono composti da aste in lamellare poligonali, rettilinee, lunghe circa 13,5 m, reciprocamente collegate in modo rigido. I costoloni ad andamento diagonale incastrati nei nodi completano la meridiana in un reticolo di faccette triangolari piane. I nodi sono composti da prismi ottagonali in lamellare con coprigiunti di acciaio, che garantiscono sia un effetto di incastro sia una elevata resistenza al fuoco.
La costruzione in legno poggia su piedritti di cemento armato alti circa 6 m. Struttura del tetto in lastre prefabbricate composte da telai di legno e pannelli di truciolare isolati autoportanti.

1 Tondo di ferro Ø 16 mm
2 Lamiera di acciaio con tubo saldato
3 Piastra di acciaio d = 12 mm
4 Bullone

Comparazione di superfici di calotte sferiche, cupole geodetiche e grandi strutture a rete col medesimo raggio

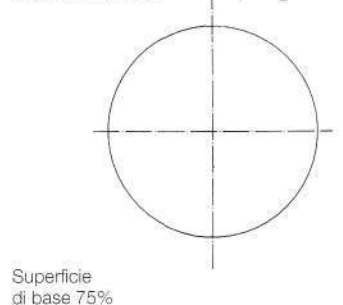
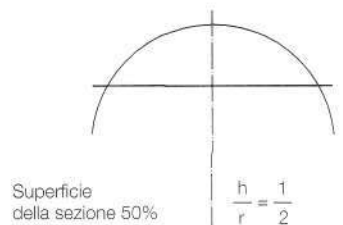
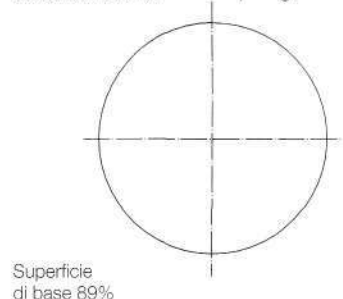
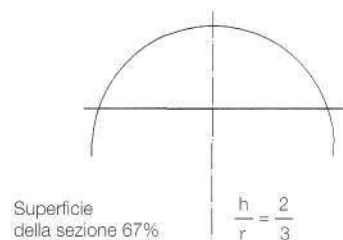
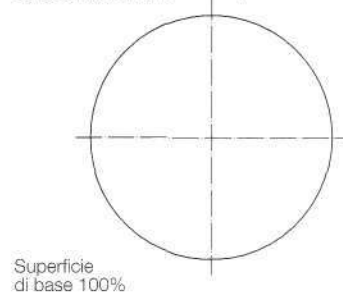
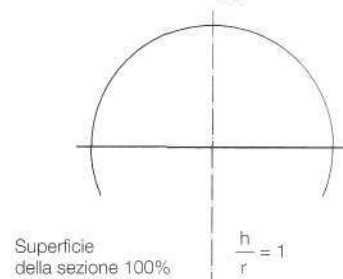
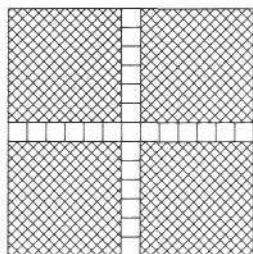
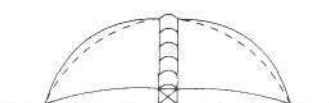
Superficie della sezione 100% $\frac{h}{r} = 1$

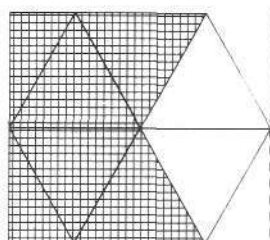
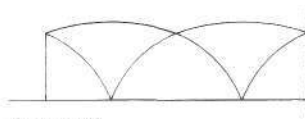
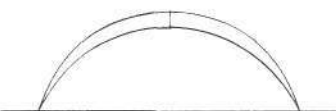
Superficie di base 100%

Superficie della sezione 67% $\frac{h}{r} = \frac{2}{3}$

Superficie di base 89%

Superficie della sezione 50% $\frac{h}{r} = \frac{1}{2}$

Superficie di base 75%

Forme composite di cupole a graticcio

Vista dall'alto

Vista di lato

teso in diagonale tramite quadrati tra gli archi di estremità, con lucernario cruciforme

Vista dall'alto

Vista di lato

Sezione trasversale

tesa ortogonalmente tra gli archi di estremità disposti diagonalmente

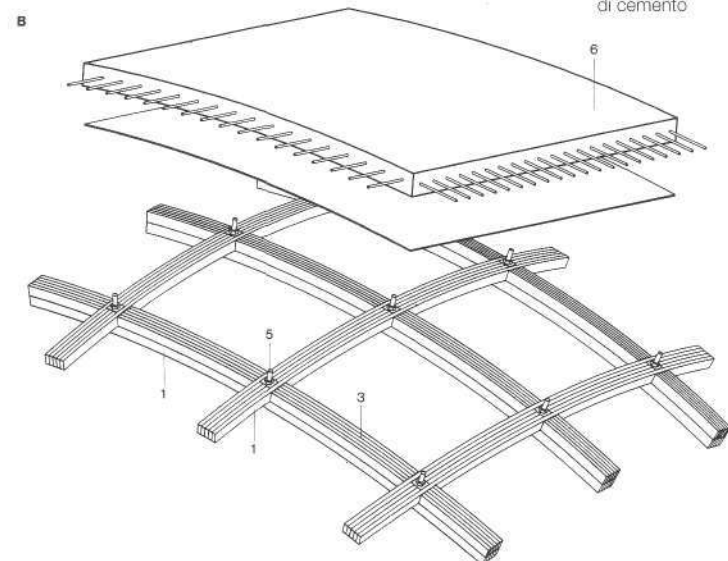
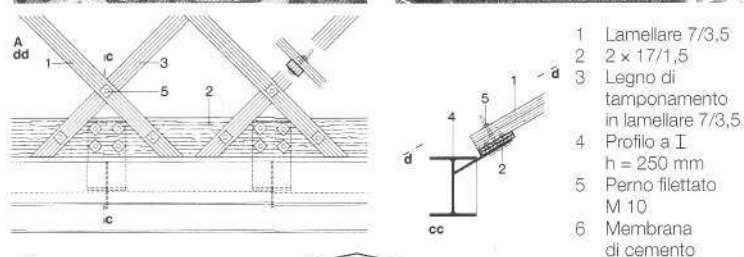
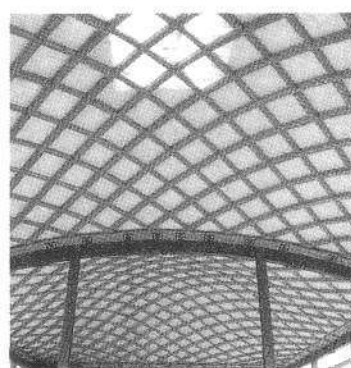
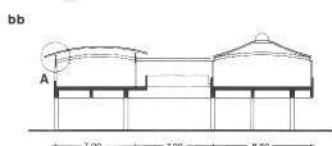
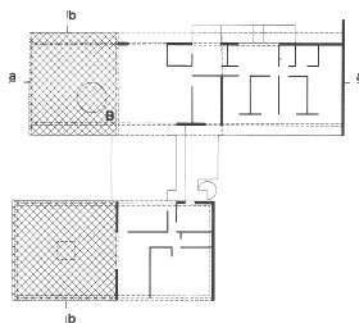
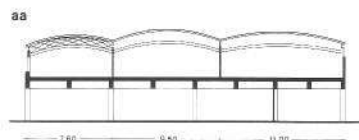
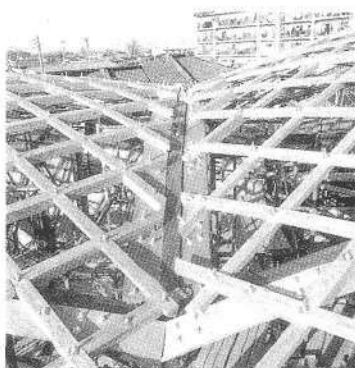
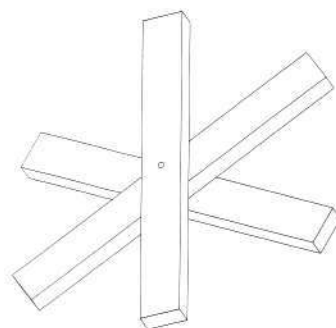
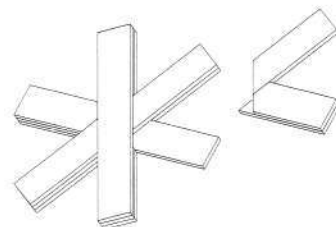
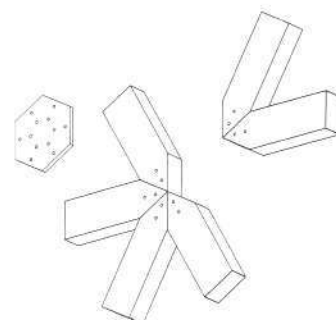
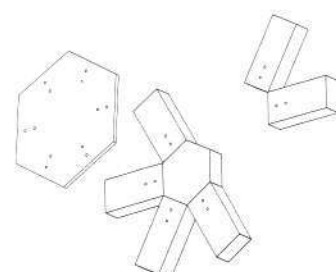
116 • Edificio per uffici e abitazione

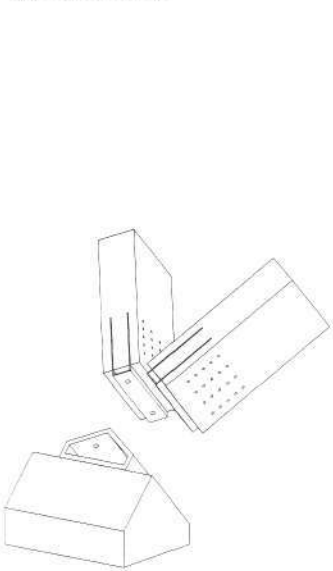
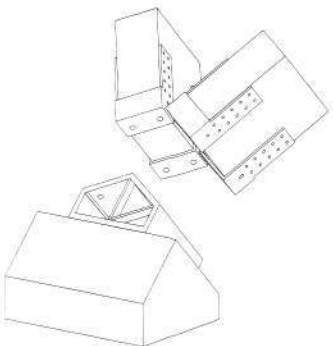
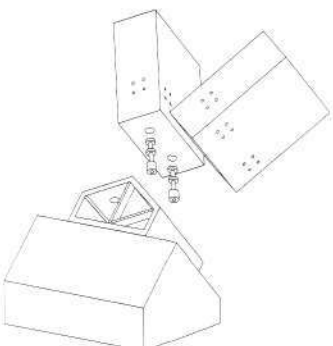
Hirituka, Kanagawa, Giappone; 1988

Architetto: Shinji Yoshino, Tokyo

Ingegneri strutturisti: TIS e associati

Una volta in reticolato di legno è servita come impalcatura per la realizzazione di cinque volte di calcestruzzo, che formano il tetto ad arco. Nella fase di edificazione la costruzione di legno forma la sottostruttura doppiamente ricurva o priva di montanti dell'assito. Nella condizione definitiva essa rimane come elemento di soffitto a vista senza funzione portante. I costoloni di legno sono stati montati al suolo in un reticolo quadrato con lati lunghi 50 cm. Essi sono composti da due strati di assi che sono collegate ai punti di incrocio mediante bulloni ed elementi lignei di riempimento. Dopo il sollevamento, collegamento nella posizione definitiva con elementi di estremità in legno. Taglio dei costoloni sporgenti alle estremità. Dopo l'applicazione della cassaforma a perdere e di un reticolo di armatura, la volta è stata ricoperta di cemento.

1 Lamellare 7/3,5
2 2 × 17/1,5
3 Legno di tamponamento in lamellare 7/3,5
4 Profilo a I h = 250 mm
5 Perno filettato M 10
6 Membrana di cemento

Connessioni di cupole a graticcio

con perni filettati e connettori a disco dentato

Assi impilate in modo alternato, incollate, chiodate oppure incollate e rinforzate con chiodi con elemento di legno di copertura

Pannello di multistrato o di acciaio chiodato

Nucleo di legno duro e piastra chiodata

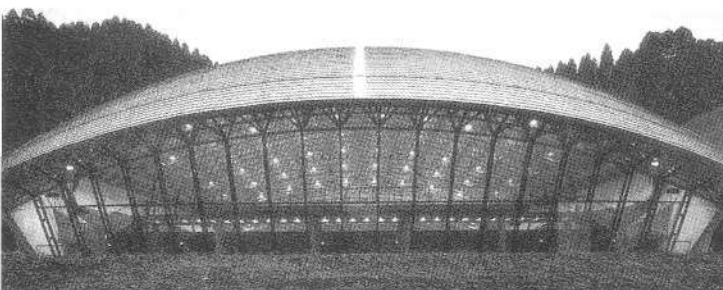
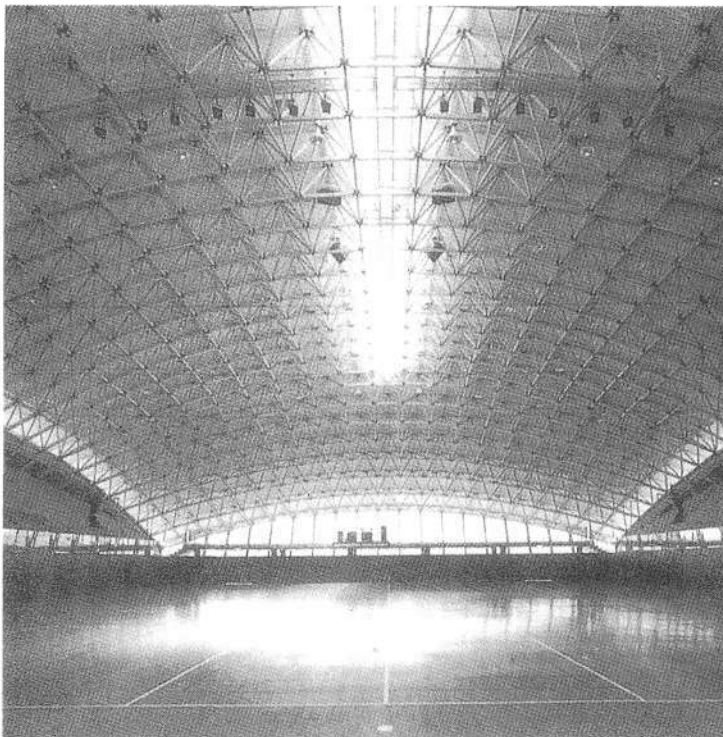
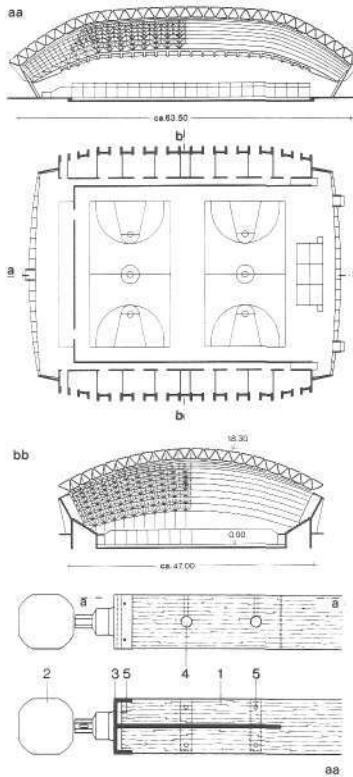
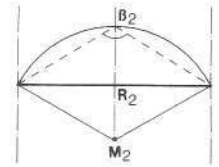
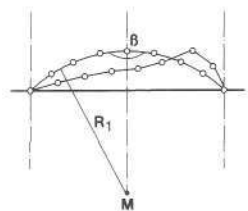
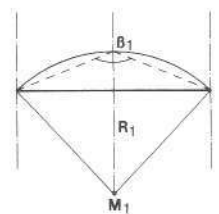
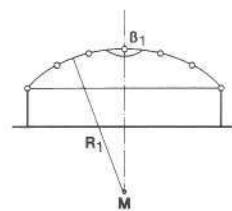
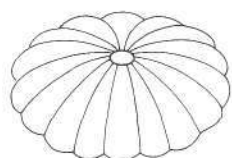
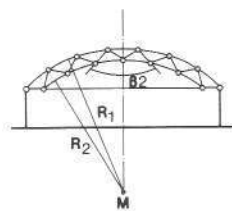
Appoggi di cupole

Lamiera a U intagliata, avvitata al profilo di acciaio, ricoperta con resina epossidica

Coprigiunti incavicchiati, avvitati al profilo di acciaio rinforzato

Tasselli a serraggio e profilo di acciaio rinforzato

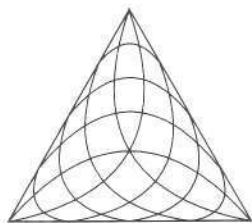
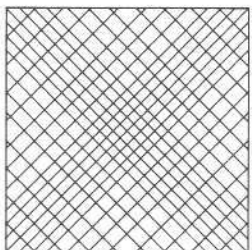
117 • Palazzetto dello sport

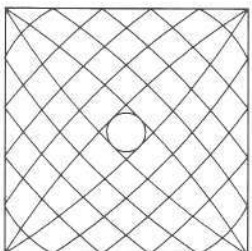
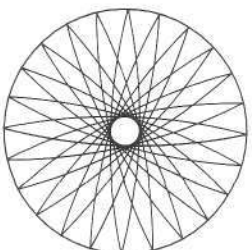
Oguni, Giappone: 1988

Architetto: Shoei Yoh, Fukuoka

Un traliccio di aste nello spazio, doppiamente ricurvo, forma la costruzione del tetto di una palestra. Le aste (fino a un massimo di otto) che si congiungono in un punto nodale in legno dì cedro sono collegate centricamente a una sfera di acciaio. Le forze di compressione vengono trasmesse fino all'80% tramite il contatto del legno di testa. Le forze di trazione vengono convogliate tramite coprigiunti di acciaio intagliati. Le intercapedini tra legno ed elementi di acciaio sono state riempite con resina epossidica. La struttura ad aste a tessitura fine agisce da guscio rigido; nella zona della facciata essa poggia su una parete di calcestruzzo mentre sui lati con vetrata si appoggia a piloni inclinati. Per la protezione antincendio è stato previsto un impianto automatico di nebulizzazione.

1 Legno di cedro 9/9
2 Nodi di traliccio nello spazio
3 Piattabanda con lamiera intagliata s = 4,5 mm
4 Spina Ø 16 mm
5 Foro per introduzione del riempimento di resina epossidica

Misure per incrementare la stabilità dei nodi

Riduzione dei raggi delle calotte sferiche: $R_2 < R_1$
Riduzione dell'angolo di contingenza $\beta_2 < \beta_1$

Nodi resistenti a flessione consentono l'assorbimento dei momenti

Riduzione dell'angolo di contingenza $\beta_2 < \beta_1$ tramite spostamento dei nodi sulla seconda superficie della sfera

Cupola composta da più elementi fortemente ricurvi (1) che aumenta la stabilità dei nodi (da Klöppel)

Cupola di assi sovrapposti e incrociati

su pianta triangolare

su pianta quadrata con frequenza dei costoloni aumentata in diagonale e archi di estremità verticali

su pianta rettangolare con archi di estremità inclinati verso il centro della cupola

come rete a cerchio massimo con archi di estremità verticali

come rete a cerchio massimo in archi circolari con anelli compressi orizzontali sopra e anello teso sull'appoggio

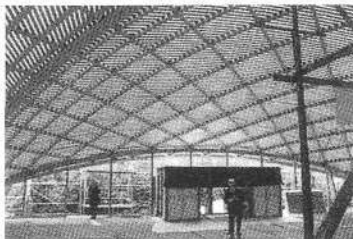
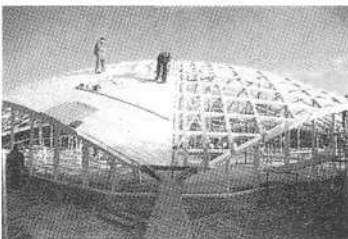
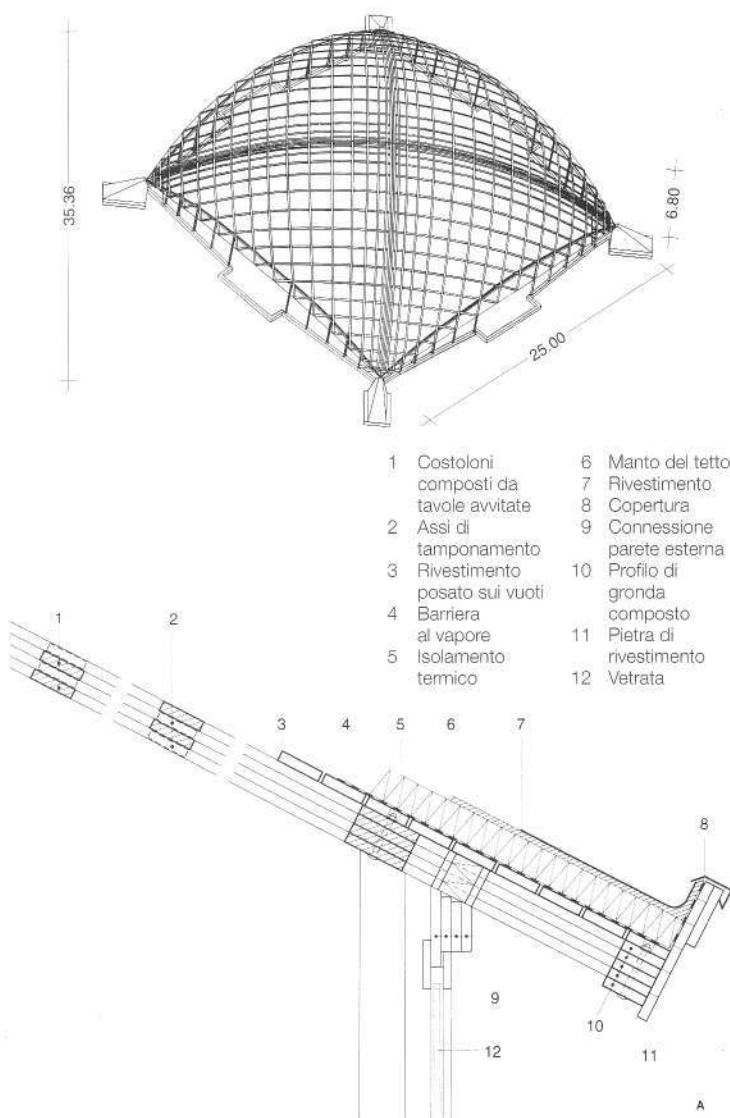
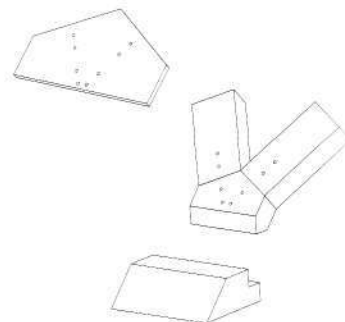
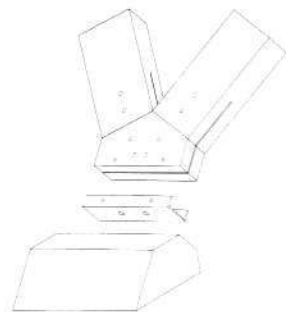
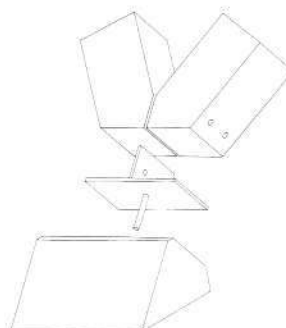
118 • Padiglione espositivo

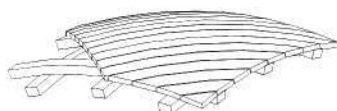
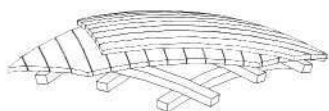
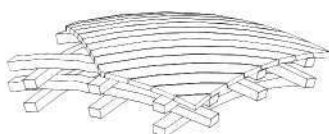
Ecublens, Svizzera; 1991

Architetto: Dan Badic, Morgens

Ingegnere strutturista: Natterer Bois-Consult, Etoy, Svizzera

La cupola sferica costruita con il metodc ad assi ampliate avvitate ha un raggio di 27,5 m su una superficie di base di 25 x 25 m e al centro raggiunge un'altezza di 6,8 m. Fondamenta e plinto di fondazione in cemento armato. I costoloni che si estendono sopra le diagonali sono composti da 2 strati disposti a croce di tavole avvitate con assi di tamponamento nei vuoti. Le tavole sono collegate nei punti di intersezione con l'ausilio di viti e bulloni. Il rivestimento posato sui vuoti e che è avvitato ai costoloni serve da diagonale della cupola nervata. Tutti i costoloni sono stati disposti al suolo, quindi avvitati e sollevati in posizione. La struttura portante della volta nervata necessita di circa 32 m^3 di legno massello.

1 Costoloni composti da tavole avvitate
2 Assi di tamponamento
3 Rivestimento posato sui vuoti
4 Barriera al vapore
5 Isolamento termico
6 Manto del tetto
7 Rivestimento
8 Copertura
9 Connessione parete esterna
10 Profilo di gronda composto
11 Pietra di rivestimento
12 Vetrata

Appoggio di cupole

con nucleo di legno duro e coprigiunto

con nucleo di legno duro e lamiera intagliata fissata alla guida a U

in profilo a T con bullone incementato

Struttura di gusci a graticcio

Due strati di costoloni ortogonali con tavolato diagonale

Due strati di costoloni ortogonali e tavolato diagonale incrociati uno sull'altro

Quattro strati di costoloni ortogonali con tavolato diagonale

Graticcio secondo il metodo delle assi impilate ortogonalmente con elementi lignei di tamponamento

119 • Padiglione per esposizioni

Nara, Giappone; 1987

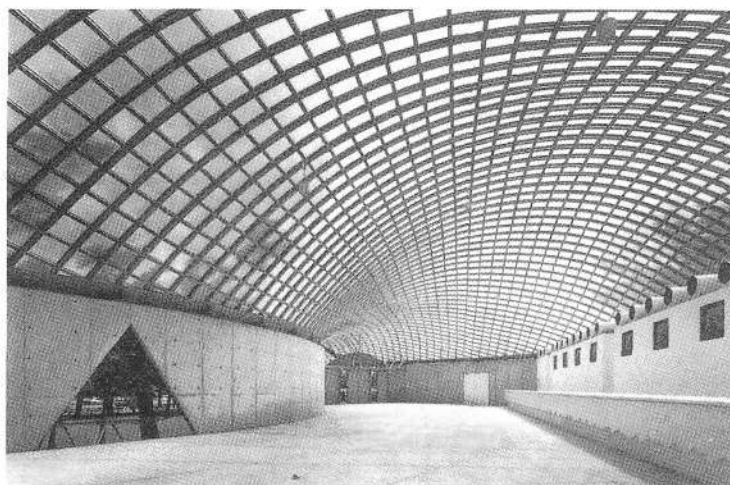
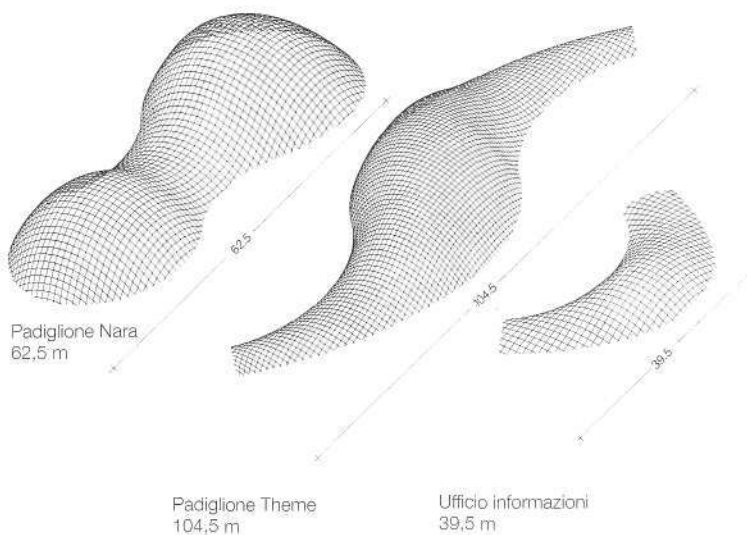
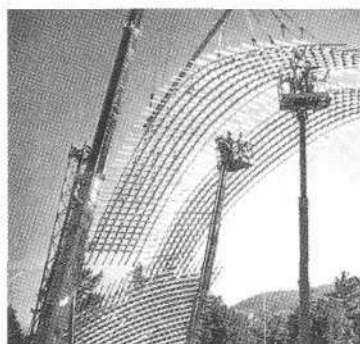
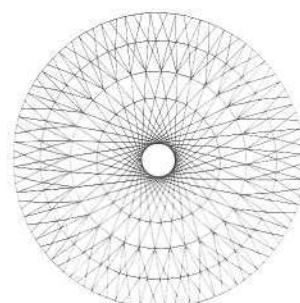
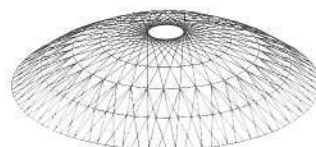
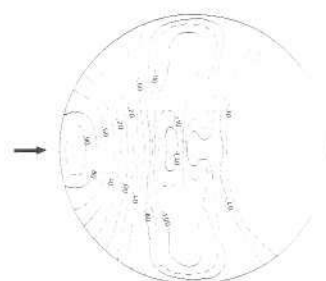
Architetti: Masahito Kibayashi, Kikutake & Ass.

Ingegneri strutturisti: Maeno, Wacia, Nagase, Hisatoku

Due padiglioni espositivi e un centro informazioni sono coperti ognuno da un graticcio dì listelli ricurvo nello spazio. Individuazione della forma sulla base di modelli sospesi con cavi, che infine sono stati calcolati e analizzati come modelli matematici. La sollecitazione di flessione a seguito della prepiegatura dei listelli di 4/7 cm è limitata dal rispetto di un raggio minimo. La forma è stata stabilita in modo che con il peso proprio vengono generate soltanto tensioni della membrana. I listelli sono applicati in quattro strati incrociati a distanza di 50 cm. Rigidità localizzata tramite elementi lignei di tamponamento. Resistenza di lastra aumentata per mezzo di diagonali di acciaio. Guscio in elementi singoli ricurvi prefabbricati, larghi 4 m. Connessione tramite bulloni e piastre di acciaio
Una parete di cemento armato alta 3 m forma la sottostruttura.
La copertura del tetto è composta da una membrana.

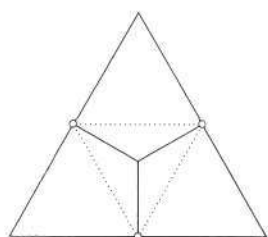
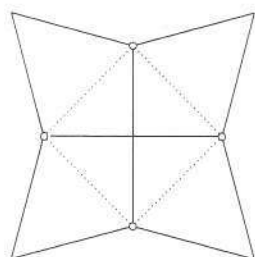
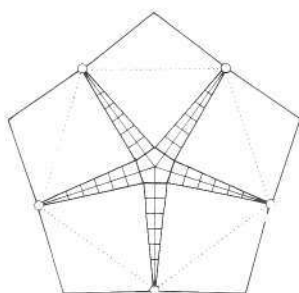
Padiglione Nara 62,5 m

Padiglione Theme 104,5 m

Ufficio informazioni 39,5 m

Cupola a strati di assi, deformazioni

Geometria in pianta

Geometria in vista obliqua

Distribuzione dei coefficienti di compressione del vento

Deformazione in seguito a peso proprio e carico di neve

Deformazione in seguito a peso proprio, carico di neve e vento

Composizione di gusci iperbolici

Membrane a sbalzo con appoggio su tre punti e tirante

Membrane a sbalzo con appoggio su quattro punti e tirante

Membrane a sbalzo con lucernari, appoggio su cinque punti, tiranti

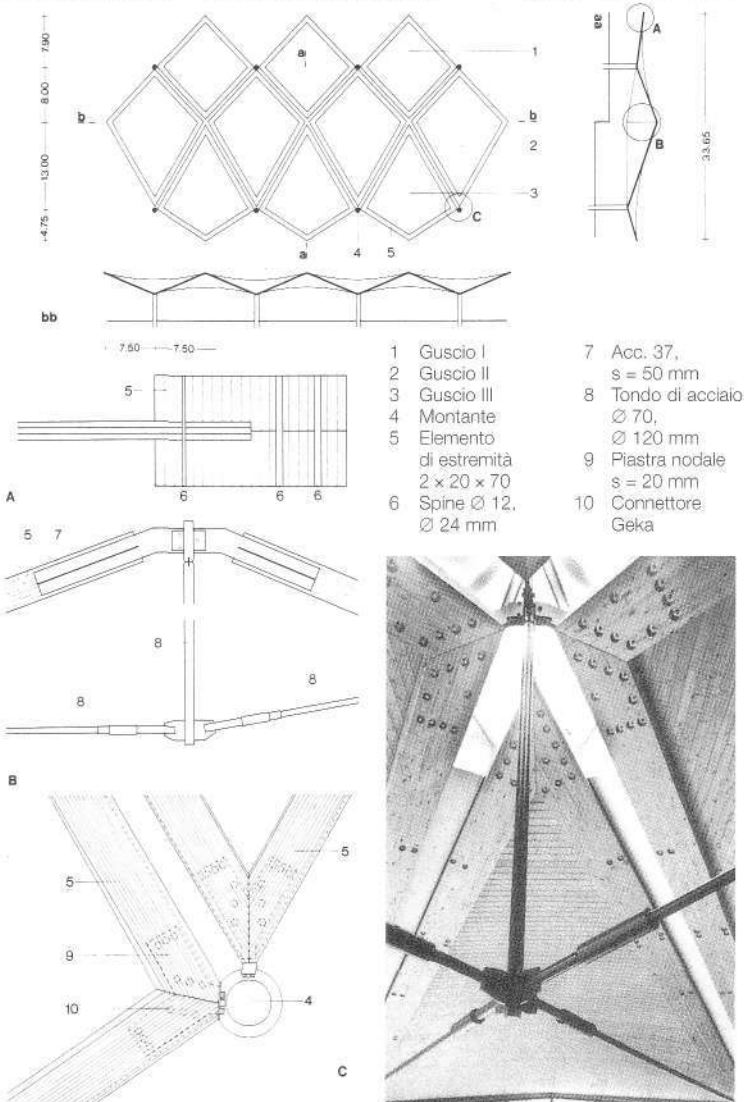
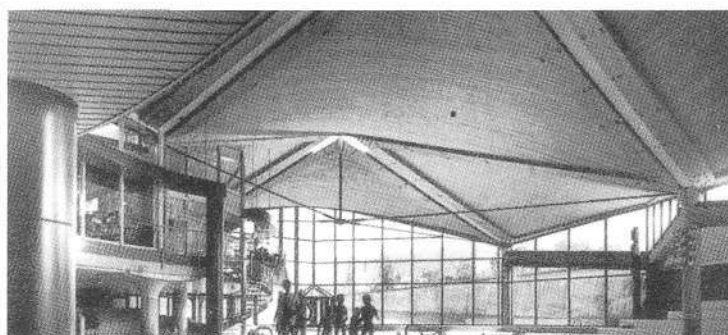
120 • Piscina coperta

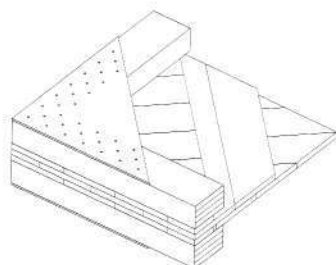
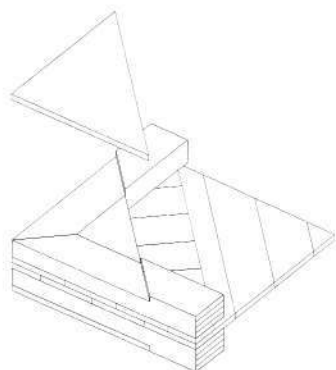
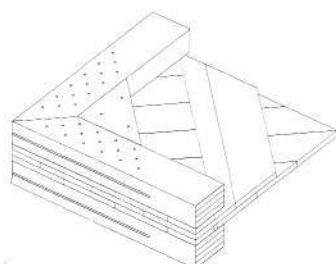
Friburgo, Germania; 1981-83

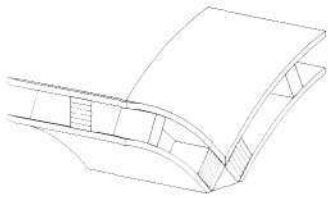
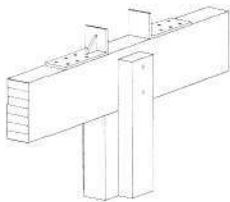
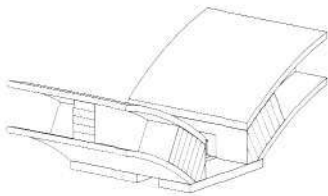
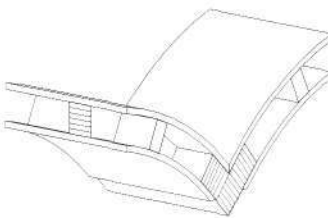
Architetto: H.D. Hecker, Friburgo

Ingegnere strutturista: M. Scherberger, Friburgo

Copertura della piscina con dieci membrane a forma paraboloide iperbolica allineate una dopo l'altra. Elementi delle membrane composti ognuno di quattro montanti di cemento armato posti in due file a distanza di 21 m. Elementi sporgenti liberamente verso la facciata sostenuti da montanti aerei nei punti alti nella campata centrale, rinforzati da tiranti inferiori. Ogni elemento della membrana è conformato in modo resistente allo scorrimento come sistema portante secondario da tre strati di tavole incrociate spessi 22 mm. Elementi dì estremità composti da travi in lamellare incollate, imbarcate, doppie. Giunzione tra gli elementi sotto forma di lucernario o per la ventilazione. Stabilizzazione per mezzo dell'effetto lastra degli elementi della membrana. Effetto continuo in seguito ai tensori e con l'incastro dei montanti. Copertura del tetto con strato di PVC su isolamento di espanso poliuretanico. Fabbricazione degli elementi delle membrane al suolo accanto al cantiere, sollevamento in posizione mediante gru.

1 Guscio I
2 Guscio II
3 Guscio III
4 Montante
5 Elemento di estremità 2 × 20 × 70
6 Spine ∅ 12, ∅ 24 mm
7 Acc. 37, s = 50 mm
8 Tondo di acciaio ∅ 70, ∅ 120 mm
9 Piastra nodale s = 20 mm
10 Connettore Geka

Configurazione angolare di gusci a forma di paraboloide iperbolico

Due strati di tavole disposti diagonalmente con bordo in due parti, rinforzo agli angoli incollato

Rinforzo agli angoli in pannello di compensato o piastra di acciaio, inchiodato

Pannello incastrato e cuneo di legno incollato

Lamiera intagliata e cuneo di legno duro incavicchiato

Appoggi di gusci conoidi e cilindrici

su montante con sella di appoggio *di lamiera di acciaio e tirante*

su montante a croce con tirante in legno, trasmissione delle forze orizzontali tramite angolari di acciaio

su montante con tirante e sella di appoggio di acciaio a V per il fissaggio della nervatura

121 • Padiglione polivalente

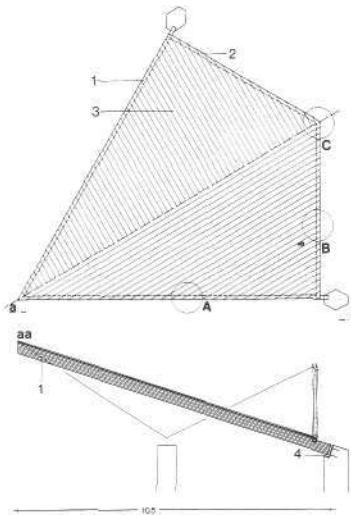
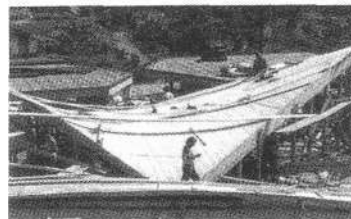
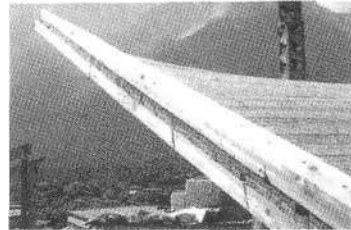
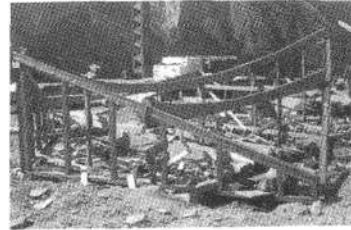
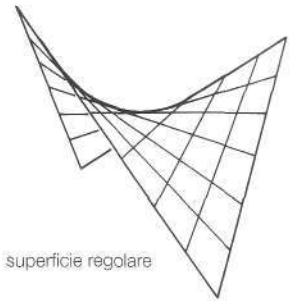
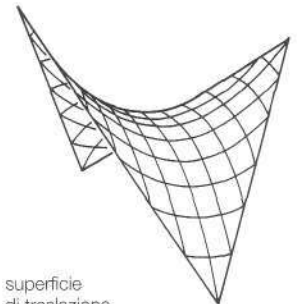
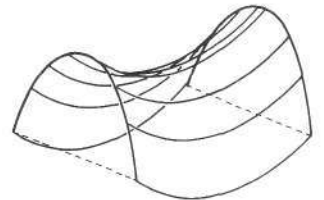
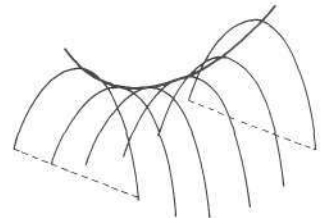
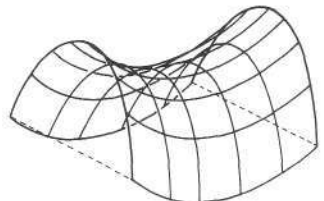
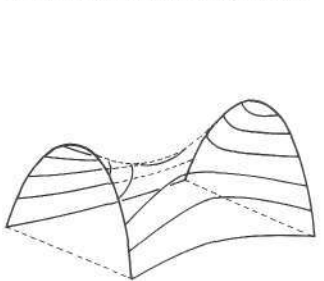
Leuk, Svizzera; 1986

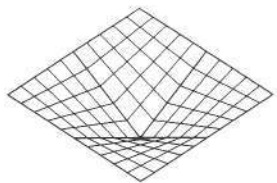
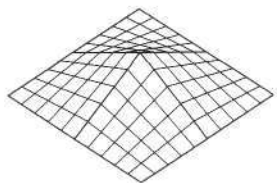
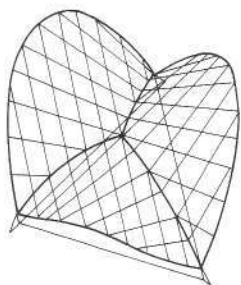
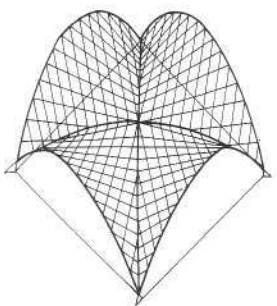
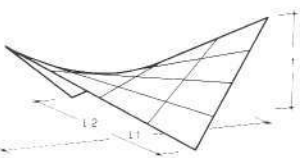
Architetti: H. e R Wenger, Briga, Svizzera

Ingegnere strutturista:
H. Gasser, Lungern, Svizzera

Il padiglione polivalente esagonale in pianta è sormontato da un guscio di legno composta da sei elementi paraboloidi iperbolici uguali. Il tetto, con superficie di 260 m², poggia nei sei punti bassi.

Ogni elemento delle membrane è state realizzato su una sagoma con due strati di tavole incrociati, spessi 24 mm ed elementi perimetrali in lamellare. Le assi parallele sono state piegate nel loro piano e posate senza giunzione aperta. Incollaggio con le travi di estremità e delie tavole tra di loro con resina resorcinica rinforzato mediante chiodatura o avvitatura. Gli elementi delle membrane finite sono stati sollevati con la gru e collegati. Il lato inferiore è stato lasciato a vista, mentre quello superiore è isolato e coperto con fogli di materiale sintetico.

1 Trave principale in lamellare 12/35
2 Trave di estremità in lamellare 2 × 8/12
3 Controsoffitto 24/12
4 Staffa metallica

Creazione di una superficie di forma paraboloide iperbolica

superficie regolare

superficie *di traslazione*

serie di parabole identiche sospese tra due parabole verticali

serie di parabole identiche sospese a una parabola

tutte le sezioni verticali sono parabole

tutte le sezioni orizzontali sono iperboli

Composizione di gusci a forma di paraboloide iperbolico

Le pieghe di conversa scendono su un punto basso comune

Le pieghe di colmo salgono in un punto alto comune

Tre superfici concave uguali a paraboloide iperbolico, che si compenetrano, con archi esterni obliqui a paraboloide iperbolico come delimitazione di estremità

Quattro superfici uguali a paraboloide iperbolico, disposte radialmente con archi parabolici esterni verticali

per $l_1 \approx l_2$ travi di estremità

$h \approx b = \frac{l}{60} - \frac{l}{80}$

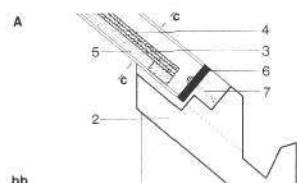
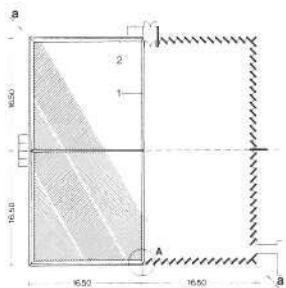
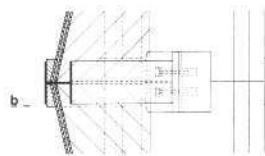
l = 14-60 m (2-3 o 4-5 strati di tavole ~ 21 mm con incastro a coda di rondine continuo)

122 • Chiesa di St. Pius

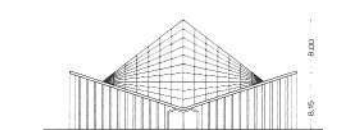
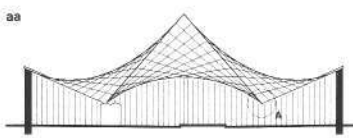
Krefeld. Germania; 1966-67

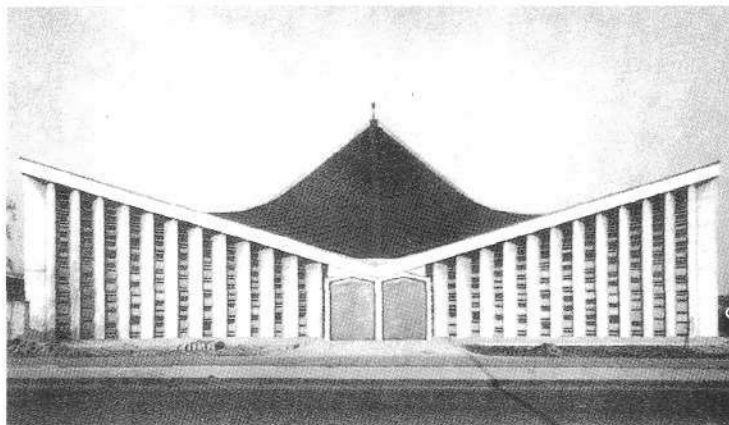
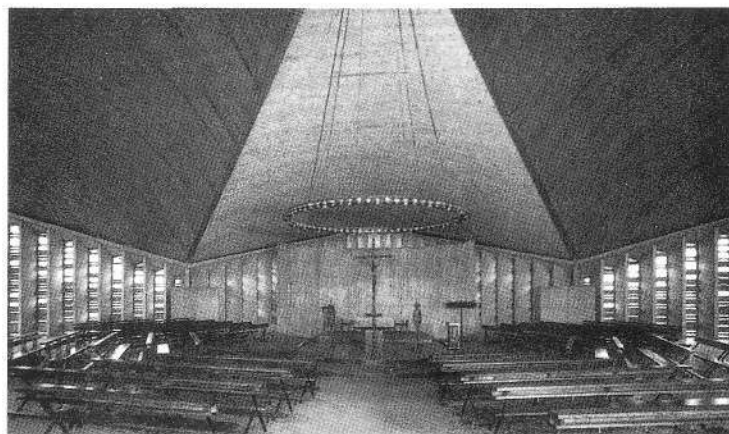
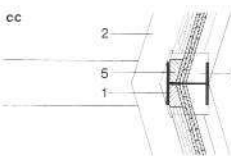
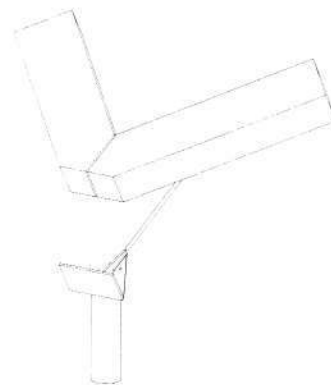
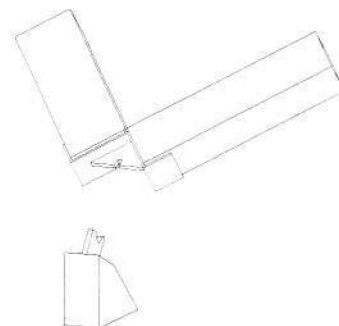
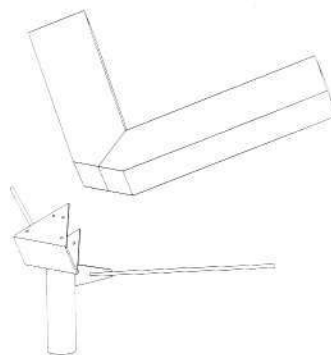
Architetto: J. Lehmbrock, Düsseldorf

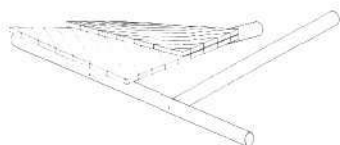
Ingegnere strutturista: S. Polónyi, R. van Kalmar, Berlino-Coionia

Quattro membrane in legno a forma di paraboloide iperbolico costituiscono la costruzione del tetto dì questa chiesa a pianta quadrata di dimensioni 33 x 33 m. Due strati di tavole, che sono posati in direzione di compressione, si incrociano con uno strato di tavole in direzione di trazione. Collegamento tramite incollaggio rinforzato da chiodi. Le forze di estremità di ogni elemento della membrana vengono cedute alle travi principali rettilinee in acciaio e alle travi di estremità in cemento armato. Lastre di calcestruzzo poste diagonalmente assorbono i carichi ad azione orizzontale e verticale.

a

A

bb

aa

1 Trave principale IPB 280
2 Trave di estremità in cemento armato
3 Strato di tavole s = 2,4 cm
4 Strato di tavole s = 2 cm
5 Tavola per compensazione in altezza
6 Piastra di base s = 50 mm
7 Bullone di ancoraggio M 16

cc

Appoggi di gusci a forma paraboloide iperbolica

su montante di acciaio, tirante per assorbimento delle forze orizzontali

su piedritto di cemento con giunto articolato

su montante di acciaio con tiranti come fissaggio ad anello

Struttura di superfici a forma di paraboloide iperbolico

Elemento di estremità e costolone in legno tondo con strati di tavole disposti diagonalmente

Due strati di tavole disposte diagonalmente con elemento di estremità doppio incollato e rinforzato da chiodi

Tre strati di tavole disposte diagonalmente

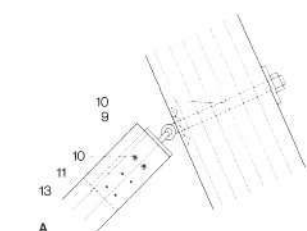
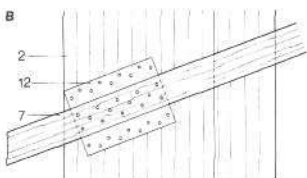
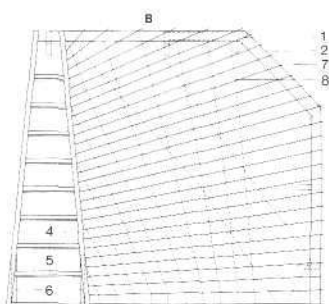
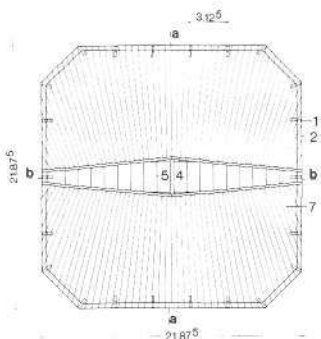
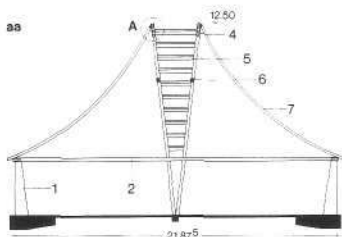
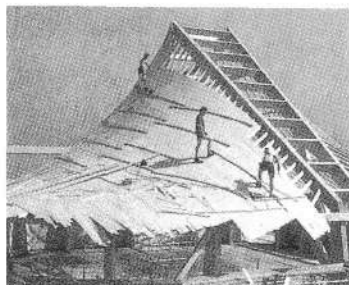
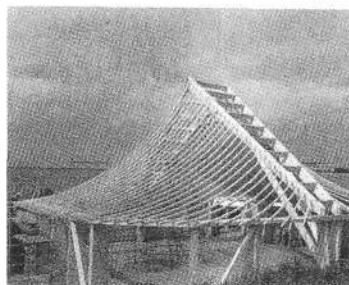
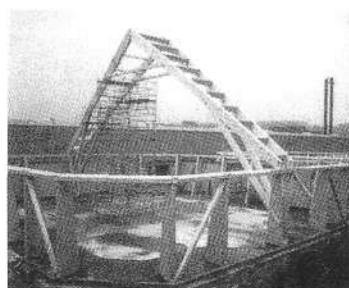
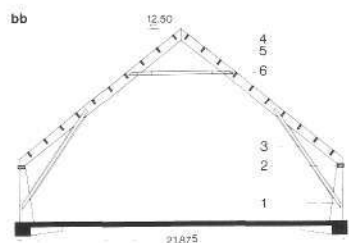
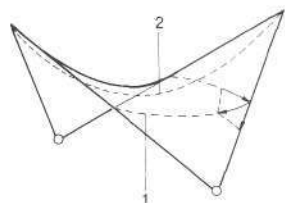
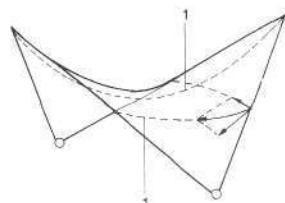
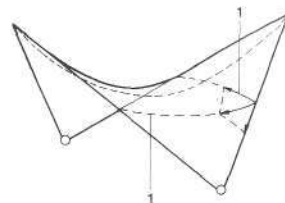
Elemento di estremità e costoloni in lamellare incollati con torsione

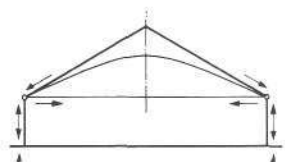
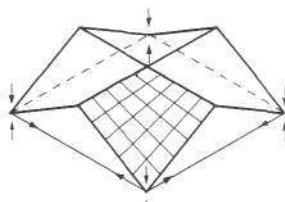
123 • Capannone di produzione

Bad Mùnder Germania; 1987

Architetti: Frei Otto e Gruppo Progettazione Gesternig. Brema

Ingegneri strutturisti:
M. Speich, F.-J. Hinkes, Hannover

In un asse di simmetria due telai piani a tre cerniere sono inclinati verso l'esterno dalle verticali e sono collegati con aste trasversali in modo resistente a trazione. Sopra ì montanti di parete esterna incastrati si estende in cerchio un traverse di gronda sotto forma di telaio orizzontale. Come elemento portante per la copertura del tetto sono disposti costoloni sospesi che vanno dal telaio a tre cerniere al telaio di arcarecci di gronda orizzontale e presentano un raggio di curvatura unitario di 20 m. Questi costoloni sospesi formano come superficie di falda una forma di membrana libera tra elementi di estremità rettilinei. Sui costoloni è applicata una perlinatura del tetto. I tiranti posati parallelamente ai costoloni impediscono uno spostamento dei telai a tre cerniere dal piano di telaio in caso di carico asimmetrico.

1 Montanti di parete esterna 20/50-100
2 Traverso di gronda in lamellare 21/45
3 Puntone 20/30
4 Telaio a tre cerniere in lamellare 20/65-45
5 Aste trasversali 10/35
6 Traverso di conversa 20/30
7 Costoloni sospesi 6,5/9,3
8 Controventi 2/60 mm
9 Connettore Geka semplice Ø 80 mm
10 Bullone
11 Spina
12 Pannello forato
13 Lamiera di acciaio

Comportamento strutturale delle superfici a forma di paraboloide iperbolico

Con carico distribuito uniformemente le forze si riuniscono all'estremità generando forze con andamento in direzione dell'estremità

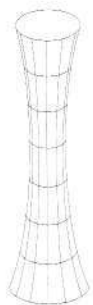
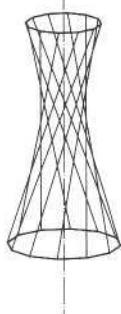
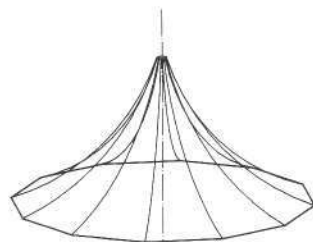
1 Arco teso
2 Arco compresso

Le forze orizzontali della superficie della falda possono venire assorbite tramite tiranti posti tra i punti di appoggio

Combinazioni adeguate di più superfici di falda consentono di collocare i tiranti nelle pareti esterne

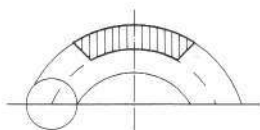
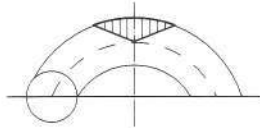
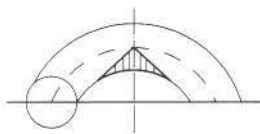
$$H = X_y \cdot \frac{l}{n} \cdot \frac{l^2}{8f}$$

$$V = X_x \cdot q \cdot \frac{l}{n} \cdot \frac{l}{2}$$

X_x, X_y = fattori di ripartizione dei carichi

l = distanza dei punti alti e bassi della membrana opposta misurati in proiezione

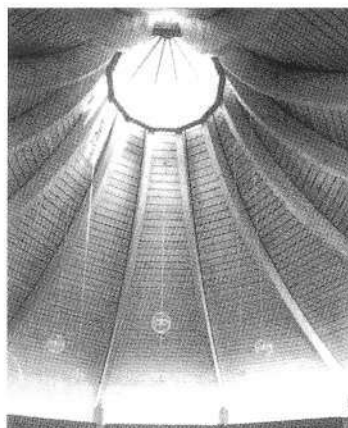
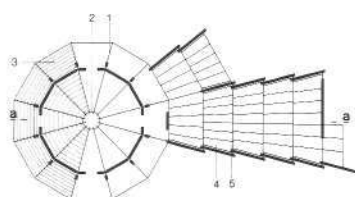
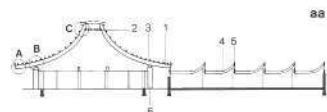
Creazione per rotazione di una superficie a doppia curvatura

Paraboloide a rotazione, con cerchio e parabola sugli stessi raggi attorno a un asse di rotazione

Paraboloide di traslazione con cerchio e rette

Settori circolari, linee sinusoidali, parabole o iperboli attorno a un asse di rotazione

Sezioni toroidali di forme geometricamente definibili

124 • Sala per celebrazioni

Unterhaching, Germania; 1976

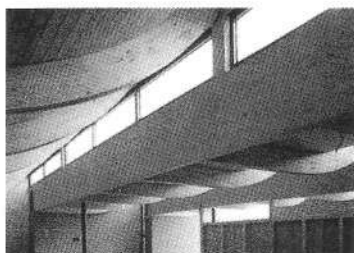
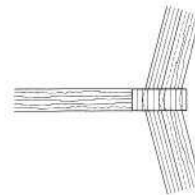
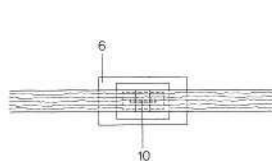
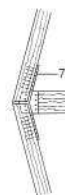
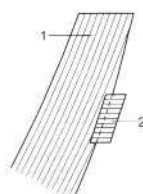
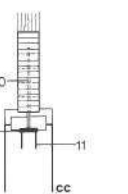
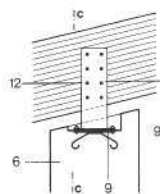
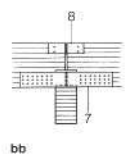
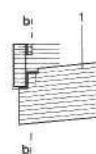
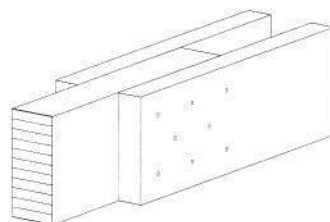
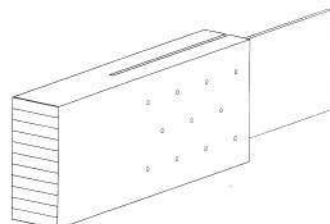
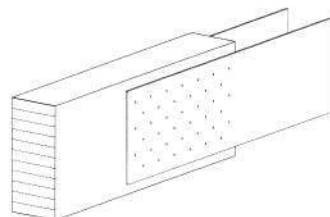
Architetto: T. Gilbert, Monaco

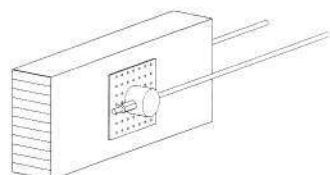
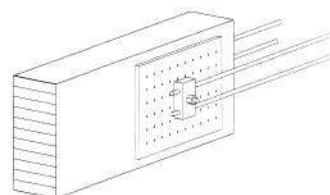
Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterer e Dittrich, Monaco

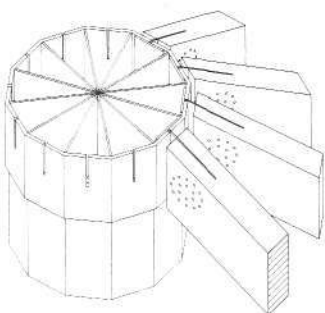
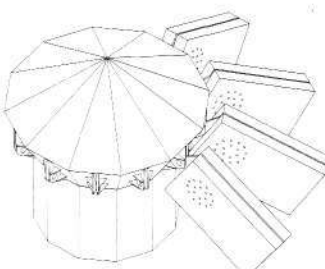
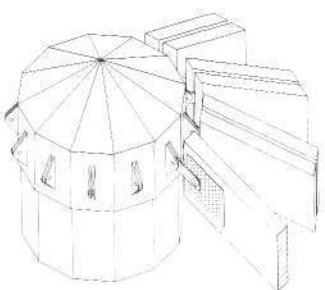
Un paraboloide a rotazione e un tetto *shed* arcuato coprono l'edificio del cimitero. Dodici capriate in lamellare disposte radialmente poggiano su pilastri di cemento armato incastrati e si riuniscono in un anello compresso centrale in lamellare. Gli arcarecci di legno massello ad andamento anulare sono uniti all'appoggio e collegati nel settore di estremità in modo resistente a trazione per mezzo di coprigiunti di acciaio chiodati. Un controsoffitto posato radialmente supporta il tavolato diagonale spesso 22 mm. Sopra di esso si trovano il manto del tetto in cartone con copertura di rame. Stabilizzazione complessiva per mezzo della disposizione spaziale delle capriate e dei pilastri incastrati. Il padiglione attiguo è coperto da shed che poggiano su capriate in lamellare.

1 Capriata in lamellare 18/65-45
2 Anello compresso in lamellare 15/40
3 Arcarecci 10/22
4 Trave in lamellare 12/34,5
5 Trave in lamellare 12/50
6 Montante in calcestruzzo
7 Staffa di acciaio s = 10 + 15 mm
8 Coprigiunto di acciaio 90/10/300
9 Piastra di base 150/15/350
10 Elementi di ancoraggio
11 Staffa saldata 2 × Ø 10 mm
12 Spina Ø 24 mm

A

B

C

Giunti rigidi per nervature sospese

collegati da entrambi i lati con spine

Coprigiunti di lamiera intagliati

Coprigiunti di lamiera inchiodati da entrambi i lati

Connessioni di costoloni sospesi a elementi di estremità e appoggio

Doppi tirante con caviglie di tondo di acciaio e rinforzo con piastre chiodate

Trave con tirante in acciaio tramite piastre chiodate e perni di cerniera

Connessioni di nervature sospese al pilone

con profilo a T intagliato appesi nell'anello di appoggio

con pannello di acciaio tra trave doppia e cerchio di spine

con piastre chiodate e perni di cerniera

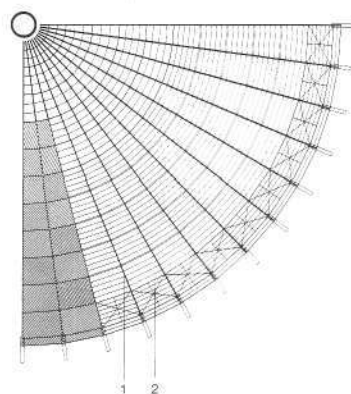
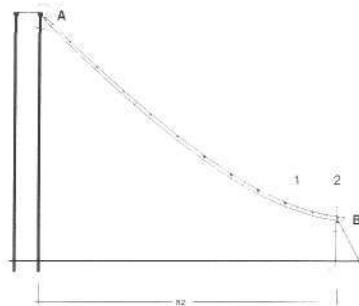
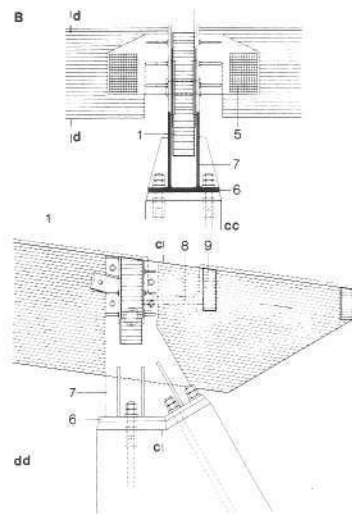
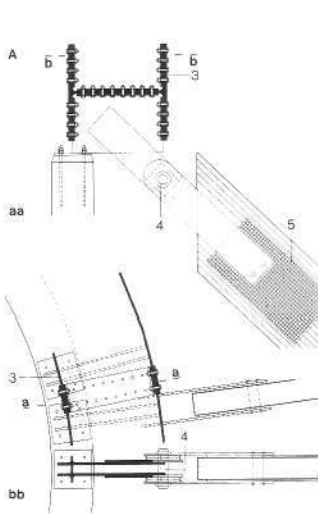
125 • Capannone per riciclaggio

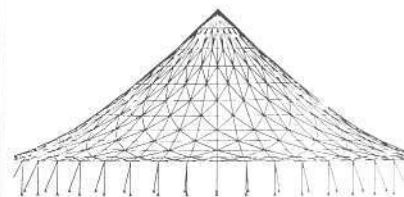
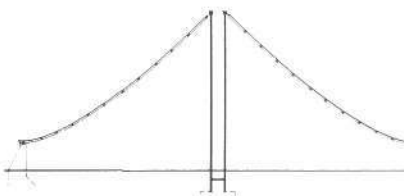
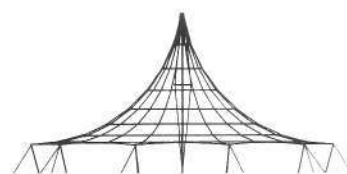
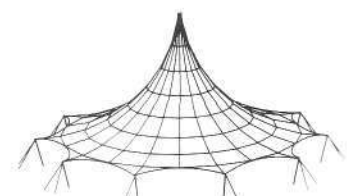
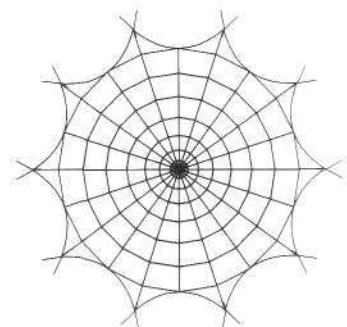
Vienna, Austria; 1981

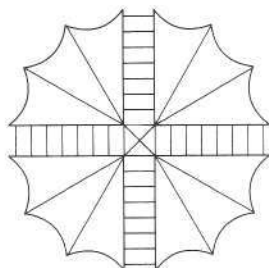
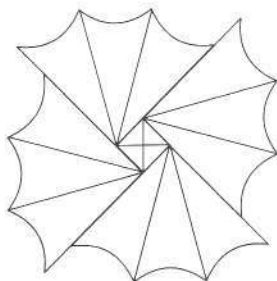
Architetto: LIVI. Lang, Vienna

ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterer e Dittrich, Monaco

Costruzione a tetto sospeso a forma di tenda per un impianto di riciclaggio dei rifiuti con diametro di 170,6 m.
La forma dei quarantotto costoloni sospesi disposti radialmente è stata determinata in modo tale che con carichi simmetrici vengono generati soltanto sforzi di trazione.
I carichi unilaterali vengono distribuiti dagli anelli di arcarecci alla superficie del tetto e sollecitano i costoloni a flessione.
Il reticolo formato dai costoloni e dagli arcarecci è completato da un tavolato posato in diagonale e da elementi di irrigidimento nel settore di estremità in una rete resistente allo scorrimento.
In questo modo è garantito l'irrigidimento dei costoloni e un effetto membrana.
Il cilindro centrale di cemento armato alto 67 m è incastrato alla base e assorbe oltre ai carichi di montaggio unilaterali una parte dei carichi del vento. Gli appoggi di estremità alti 11 m sono conformati come lastre di cemento armato triangolari con fondamenta singole, per poter assorbire le forze di ancoraggio dei costoloni senza grande deformazione.

1 Costolone sospeso in lamellare 20/80-110
2 Arcareccio ad anello in lamellare 12/39
3 Anello di acciaio
4 Albero articolato 90 mm
5 Piastra chiodata
6 Piastra di base
7 Anima
8 Grondaia
9 Lamellare 12/39

Superfici di rotazione

Deformazioni causate da vento e carico di neve unilaterale (deformazioni fortemente aumentate)

Disegno computerizzato del sistema calcolato

Sezione di costruzione spaccato

Sistema radiale con anelli compressi

Sistema radiale con anelli compressi per irrigidimento della membrana dai carichi unilaterali e archi sospesi rinforzati da tiranti come travi di estremità

Composizione di settori di superfici di rotazione

con ingresso della luce dall'alto

con ingresso della luce dal lato

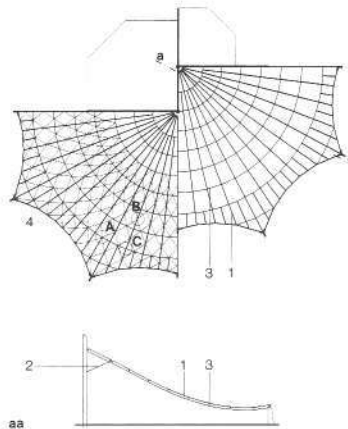
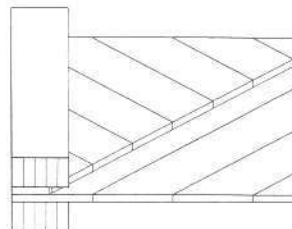
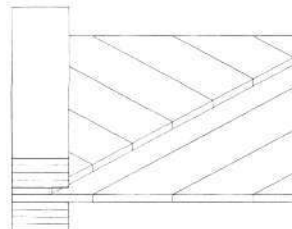
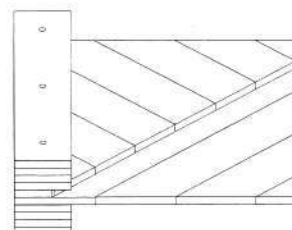
126 • Piscina coperta

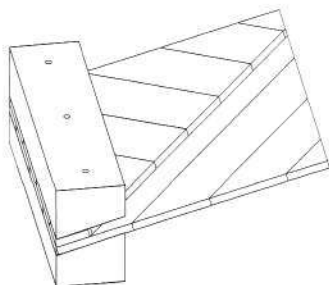
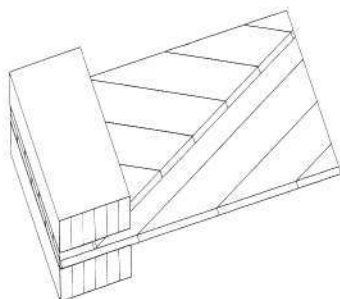
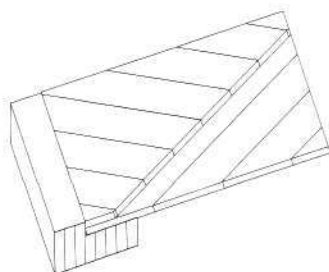
Amberg, Germania: 1988-89

Architetto: G. Wörrlein, Norimberga

Ingegneri strutturisti:
Società di progettazione
Natterere Dittrich. Monaco

La piscina è coperta da due membrane sospese sfalsate reciprocamente. Il reticolo di costoloni in lamellare si estende dal montante centrale alto 17 m a forma di ventaglio per 43 m fino ai pilastri di estremità. Per potere assorbire gli elevati carichi orizzontali unilaterali, il pilastro centrale è incastrato attraverso le lastre di cemento del tratto adiacente. I montanti di estremità sono conformati come piedritti di calcestruzzo a forma di lastra. Essendo distanti di 25 m l'uno dall'altro, il sistema portante è state eseguito come membrana nervata con elementi di estremità ricurvi. Tra i costoloni radiali sospesi gli arcarecci agiscono da anelli compressi, mentre le diagonali sono costruite come traiettorie di sforzo normale. Grazie all'elevata resistenza della membrana si è potuta utilizzare una copertura del tetto traslucida. Tutti gli elementi di connessione in acciaio sono stati coperti o annegati nel calcestruzzo per evitare la corrosione.

1 Costolone sospeso in lamellare 20/70
2 Puntoni
3 Arcareccio in lamellare 20/30
4 Diagonali in lamellare 24/24
5 Spina ∅ 20 mm
6 Lamiera nodale s = 12 mm
7 Piastra chiodata s = 10 mm
8 Mensola

Travi di estremità perpendicolari alla membrana

in due parti, in lamellare, con lamine verticali, incollate con la membrana

in due parti, in lamellare, con lamine orizzontali, incollate con la membrana

in due parti, in lamellare, con lamine orizzontali, avvitate con la membrana

Trave di estremità con chiusura verticale

in legno a sezione quadrata, avvitata con la membrana

in legno lamellare, incollata alla membrana

in profilo a L di lamellare, incollata alla membrana

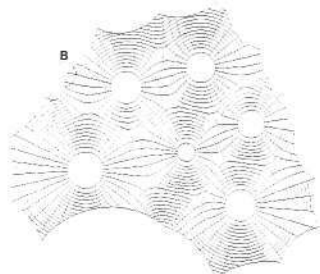
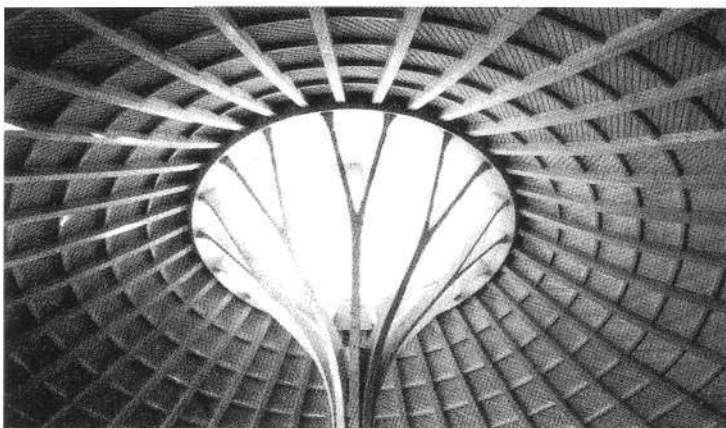
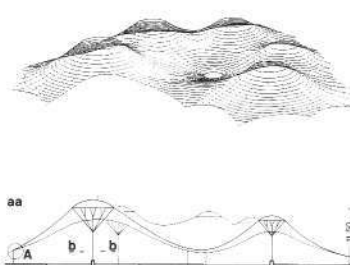
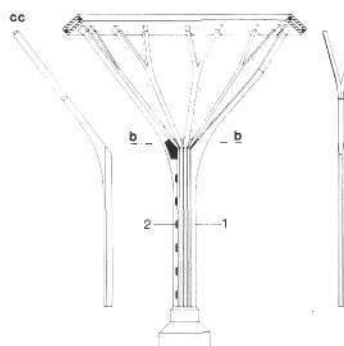
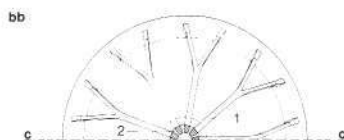
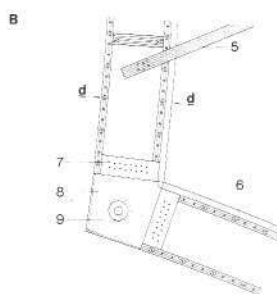
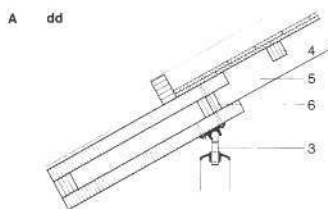
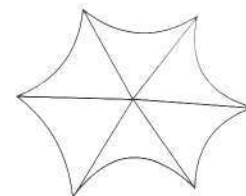
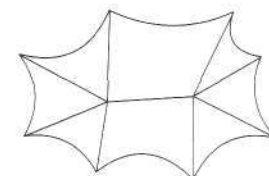
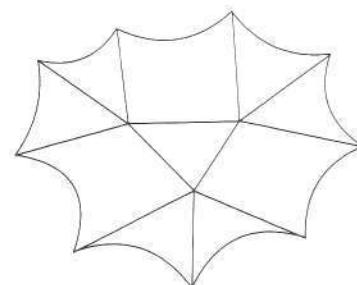
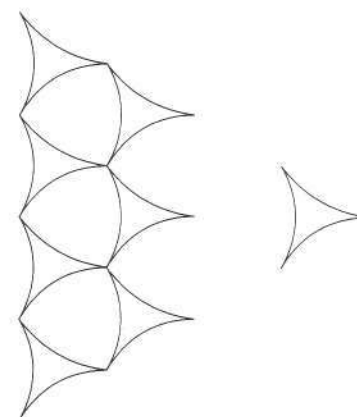
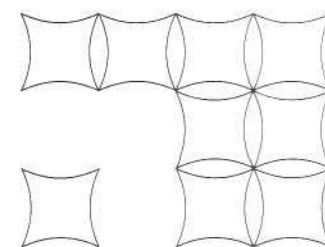
127 • Stabilimento termale

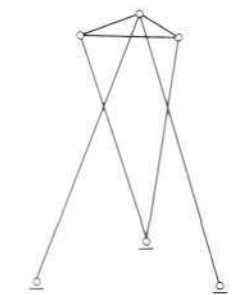
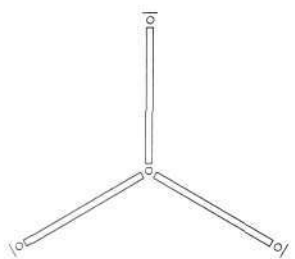
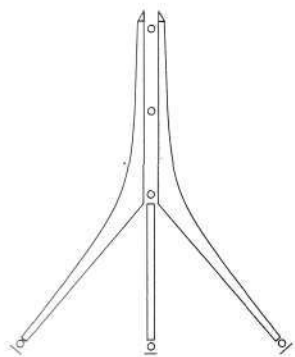
Bad Dùrrheim, Germania; 1987

Architetti: Geier & Geier, Stoccarda

Ingegneri strutturisti: Wenzel, Frese, Pòrtner, Haller, Barthel, Karlsruhe; Linkwitz, Preuss, Stoccarda (studio delle forme)

Una membrana sospesa in costoloni di legno sì estende tra i cinque montanti ad albero e gli archi di estremità sopra un impianto termale di 2500 m^2. La forma della membrana è stata determinata tenendo conto delle condizioni marginali in modo tale che i carichi vengano ampiamente ceduti a membrana tesa.

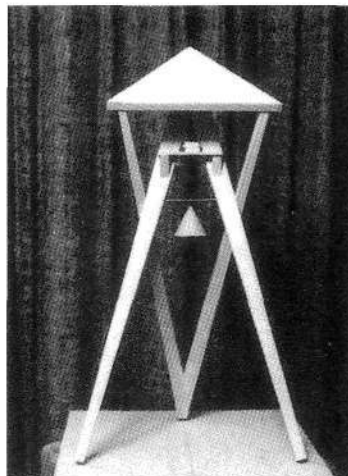
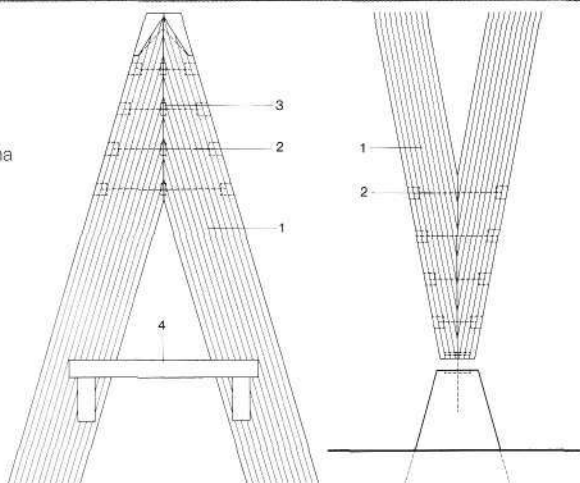
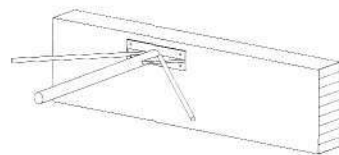
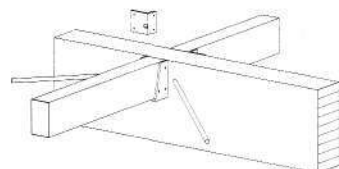
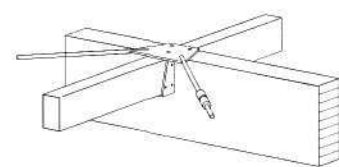
I costoloni anulari e meridiani doppiamente ricurvi in lamellare sono incastrati insieme nei punti di incrocio. Essi sono stati realizzati nella loro forma calcolata al computer e seguono con approssimazione le traiettorie principali di tensione.
Un tavolato di legno a due strati incrociati in diagonale conferisce alla membrana una elevata resistenza allo scorrimento.
Connessione ai montanti ad albero e agli appoggi di estremità tramite archi in lamellare inclinati in modo tangenziale rispetto alla superficie della membrana.
I montanti ad albero realizzati con segmenti di lamellare possono venire sollevati tramite presse. Collegamento delle travi di estremità ai montanti di facciata con cerniere a testa sferica. Rivestimento del tetto con un foglio di PVC.

1 Lamellare 12/24
2 Lamellare 30 × 16 × 3
3 Testa del montante in getto di alluminio
4 Lamellare 14/12
5 Lamellare 20,5/20
6 Lamellare 12/12
7 Spina 18/270 mm
8 Elemento in compensato
9 Appoggio d'angolo

Forme libere di membrane

con un punto alto

con due punti alti

con tre punti alti e cortile interno

come elementi triangolari composti

come elementi rettangolari composti

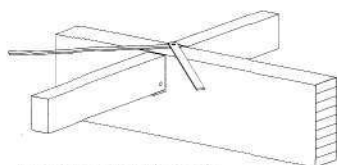
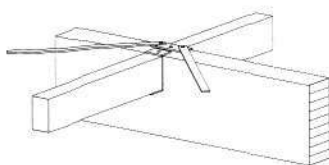
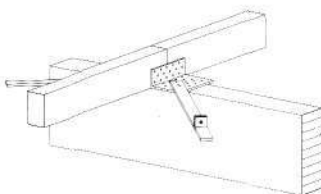
Varianti di sistemi di torri

in aste rettilinee con incastro tramite appoggio su tre punti

composte da travi di lamellare

128 • Torre campanaria

Eichstetten, Germania; 1977

Progetto e struttura portante: W. Hirzle, Umkirch

Torre campanaria libera di un edificio per celebrazioni, composta da due forcelle a V, una aperta verso l'alto e l'altra verso il basso. I puntoni di legno conici si incrociano per evitare momenti flettenti all'altezza dell'asse della campana. Un telaio triangolare collega i puntoni all'estremità formando con gli arcarecci la superficie inclinata del tetto. Il cavalletto di puntoni a tre piedi viene stabilizzato dallo sforzo normale. La lunghezza libera a pressoflessione dei puntoni viene ridotta dal collegamento reciproco nei punti di incrocio. Fondamenta singole in calcestruzzo.

1 Puntoni in lamellare, conici, 18-40/18
2 Bullone e spina ∅ 12 mm
3 Connettore ad anello ∅ 65 mm
4 Mensola per motore

Connessione di diagonali di controvento per sistemi portanti principali in tondino di acciaio

Controvento in tubo di acciaio e diagonali in tondino di acciaio

Controvento in legno con staffa della trave, diagonali in tondo di acciaio con filetto

Controvento in legno con staffa della trave, diagonali in tondo o barra di acciaio con manicotto tenditore

Connessione di diagonali di controvento per sistemi portanti principali in piatti di acciaio

Legno su profilo angolare, diagonali tese avvitate

Legno su profilo a Z, diagonali avvitate al profilo dell'appoggio opposto

Legno posto su trave principale, connessione tramite piastra chiodata angolare, diagonali in piatto di acciaio con viti di serraggio

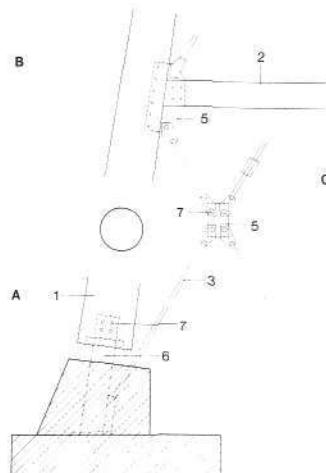
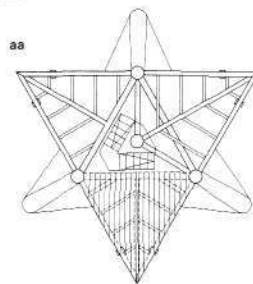
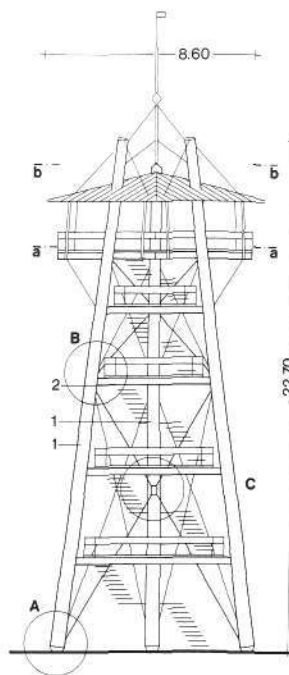
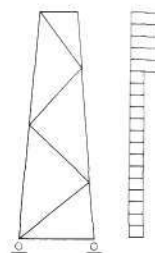
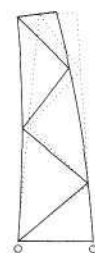
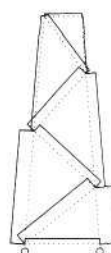
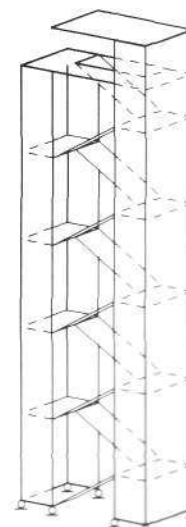
129 • Torre sulla Schauinsland

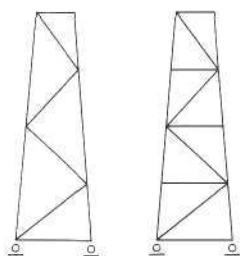
1981

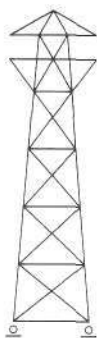
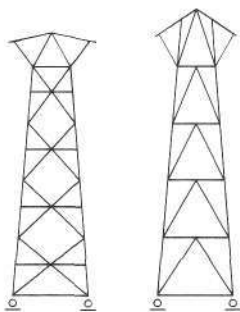
Architetti: Ufficio tecnico di Friburgo

Ingegnere strutturista: W. Hirzle, Umkirch

Pianta a forma di triangolo equilatero degradante verso l'alto. Piattaforma panoramica triangolare, ruotata di 60°. Tre tronchi principali d'angolo, ruotati di 4°, formano un treppiedi. Traverso orizzontale, resistente a compressione e trazione. e diagonali di irrigidimento in acciaio, resistenti a trazione, per la stabilizzazione della torre. Cessione di una parte dei carichi dall'ascendenza della scala attraverso if tronco centrale. Piattaforma sospesa ai montanti e rinforzata da tiranti collegati tramite tenaglie. Tutte le connessioni per mezzo di barre piatte intagliate e spine. Montaggio della sottostruttura al suolo, raddrizzamento della costruzione, installazione della piattaforma. Elementi in legno dì douglasia impregnati a pressione, elementi di acciaio stagnati a caldo.

1 Montanti in legno tondo da ∅ 65 a ∅ 50
2 Traverso orizzontale 20/30
3 Diagonali tese M 42, M 27
4 Asta di sospensione 6/22
5 Piastra di acciaio 20 mm, 15 mm
6 Tubi di acciaio ∅ 267
7 Spina e bullone, ∅ 20, 45 mm

Strutture portanti nello spazio

Carico:
carico orizzontale uniformemente distribuito

Deformazione

Sforzo normale

Due travi a U con scala, incastro tramite appoggio su quattro punti di ogni profilo

Strutture portanti nello spazio, varianti di tralicci

Diagonali a direzione alternata, con e senza aste orizzontali

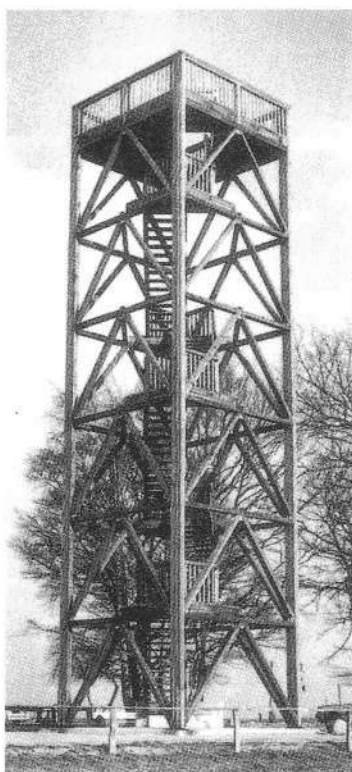
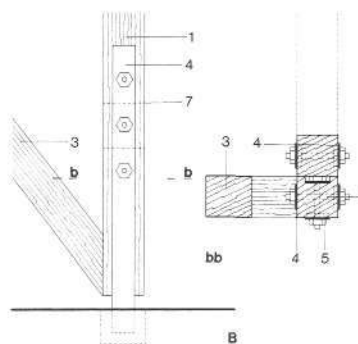
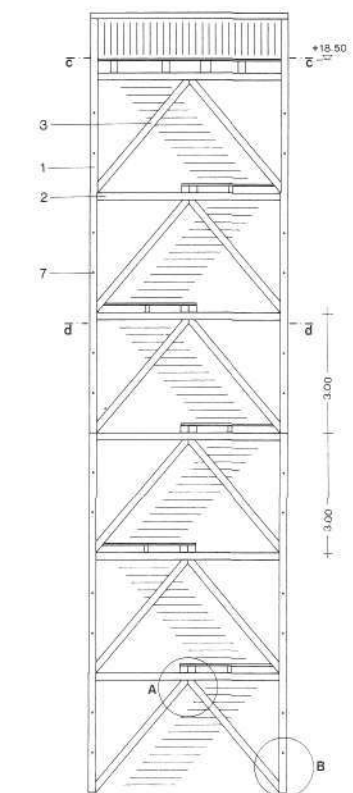
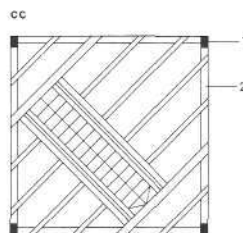
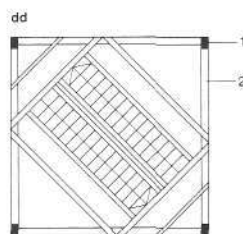
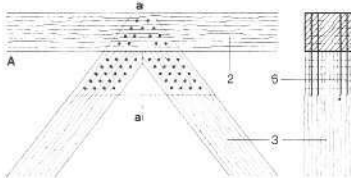
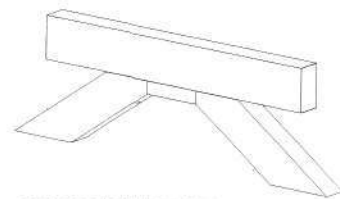
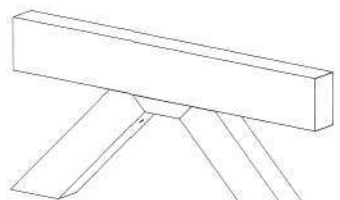
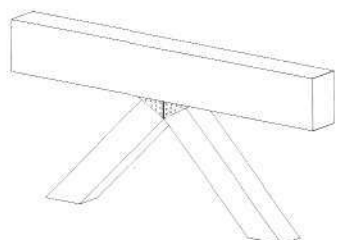
con aste orizzontali e diagonali in un senso

con aste orizzontali e diagonali incrociate

come tralicci romboidali o a K

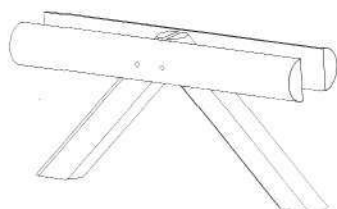
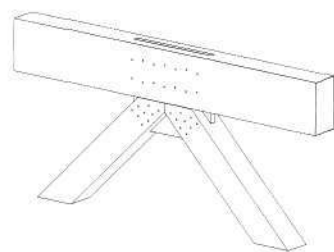
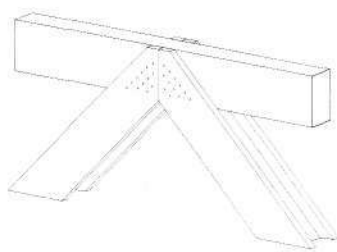
130 • Torre panoramica

Venne, Germania; 1976

Architetti: Ufficio tecnico di Osnabrùck

ingegneri strutturisti:
W. Seifert, F. Schnieder, Brattisene

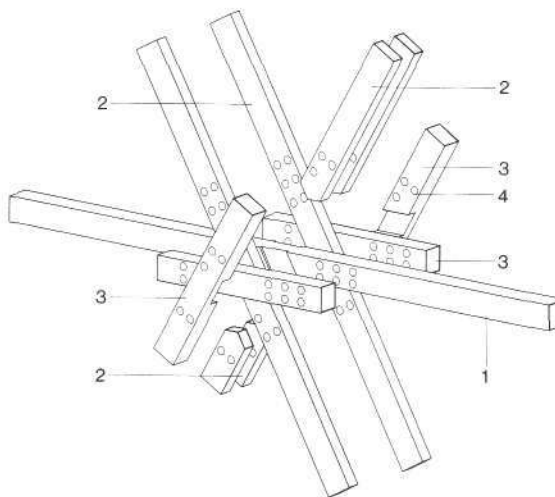
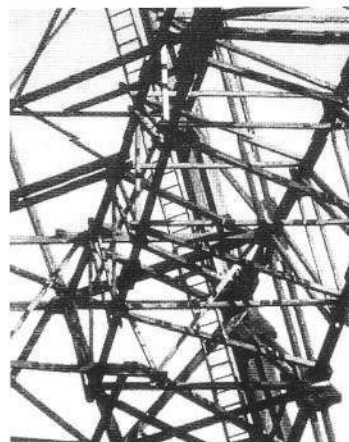
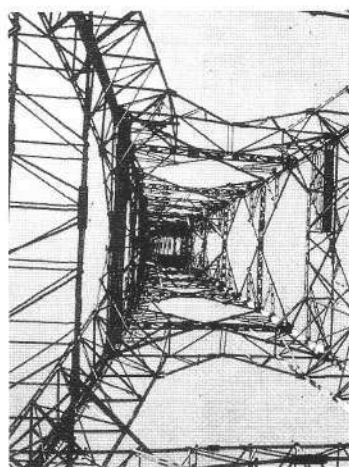
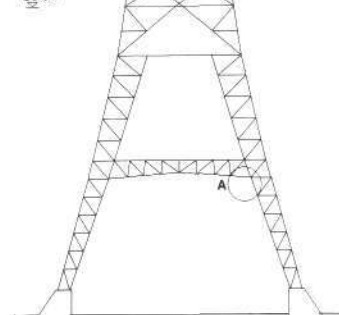
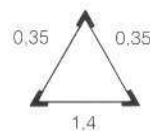
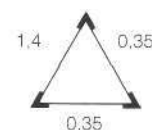
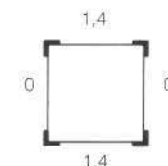
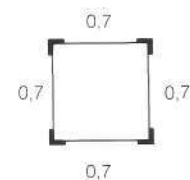
Torre panoramica alta 18 m con pianta quadrata. Quattro montanti composti ognuno da due sezioni di legno massello incavicchiate con giunti dì montaggio a metà altezza. Irrigidimento tramite traversi ed elementi a K in ogni piano. Protezione dagli agenti atmosferici utilizzando legno di larice impregnato e connessioni con lamiere chiodate secondo il metodo Greim intagliate, zincate e rivestite di materiale sintetico. Scala disposta diagonalmente. Le travi del pianerottolo irrigidiscono la pianta. Tavolato avvitato In quercia. Ancoraggio dei montanti d'angolo con profili di acciaio incavicchiati, incementati nelle fondamenta di calcestruzzo. Stabilizzazione complessiva per mezzo dell'azione della struttura portante nello spazio.

1 Montante 2 × 18/18
2 Traverso 18/14
3 Controvento a K 18/16
4 Coprigiunto di acciaio 100/7 mm
5 Connettore a disco dentato Ø 95 mm
6 4 lamiere d = 1 mm
7 Perni filettati

Connessione di aste di irrigidimento per sistemi portanti principali in legno

con mensola rettangolare e viti da legno

con mensola trapezoidale di legno duro e viti da legno

inchiodati con angolari di lamiera

Connessione di aste di irrigidimento per strutture portanti principali in legno

con connettori ad anello e perni filettati

con piastra intagliata e spine

con diagonali triple, chiodate

131 • Torre della radio

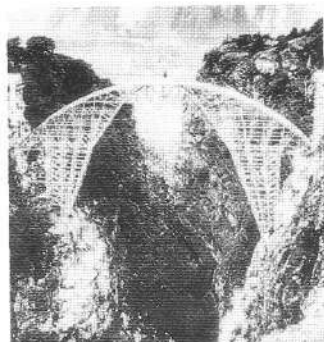
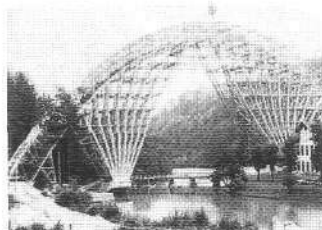
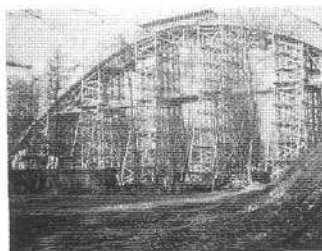
Ismaning, Germania; 1932

Ingegneri strutturisti:
Holzbaufirma Kùbler, Stoccarda

Torre della Radio bavarese, demolita nel 1983 a causa del pericolo di crollo. Parte superiore alta 115 m, una larghezza di base di 20 m e una larghezza di sommità di 2 m. Realizzata nel 1932 come torre indipendente. In seguito aumentata di altezza aggiungendo una sottostruttura alta 39 m e collocando una nuova punta a 165 m. Esecuzione della costruzione del traliccio secondo il metodo Kùbler. Utilizzo di *pitchpine* americano per la sua elevata resistenza alla putrefazione. Singola sezione trasversale massima 14/24 cm. Connessioni mediante spine Kùbler esclusivamente con viti di bronzo. A causa dei costi di risanamento troppo elevati, dovuti in gran parte alle aumentate esigenze delle normative edilizie attualmente in vigore, venne abbattuta nel 1983.

Assorbimento dei carichi del vento (calcolo preliminare)

Vento verticale
c = 2,1

Vento dall'angolo
c = 2,1

Vento verticale
c = 2,8

Vento dall'angolo
c = 3,08

$W = c \cdot q \cdot F$

F = superficie in vista diretta su una parete
W = carico del vento
c = coefficiente del vento

Varianti di centinature

Centinatura a ventaglio

Centinatura a ventaglio

Centinatura a torre

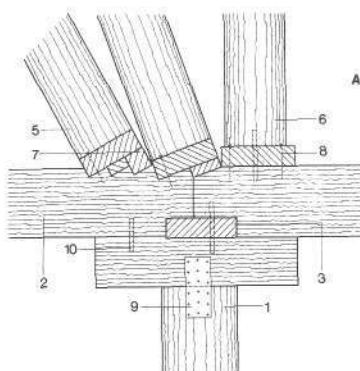
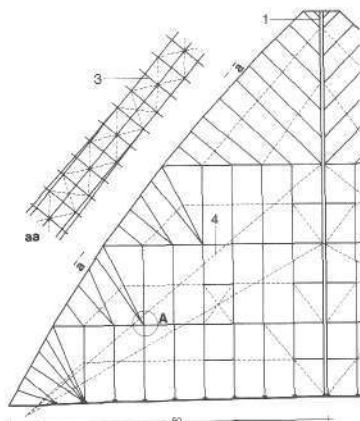
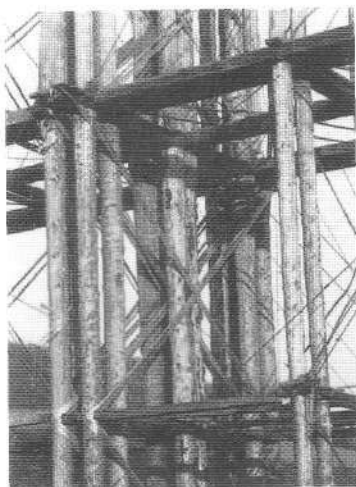
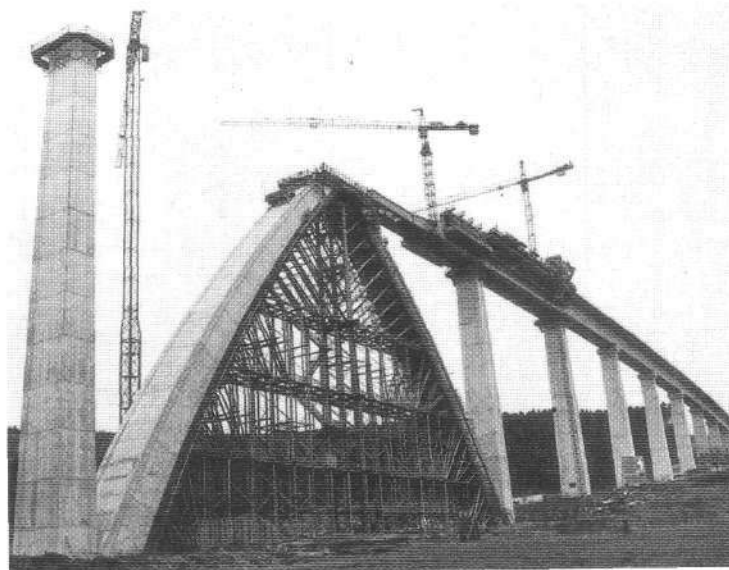
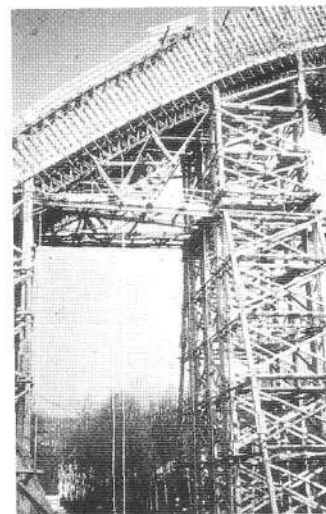
Centinatura ad arco composta da assi attaccate insieme, sistema Cruciani

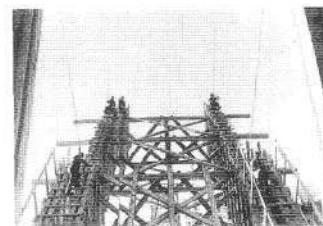
132 • Centinatura in legno a sezione circolare

Mülmisch-Talbrücke, Germania; 1985-88

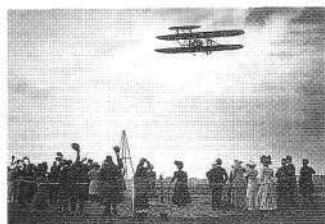
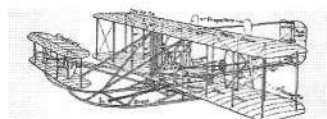
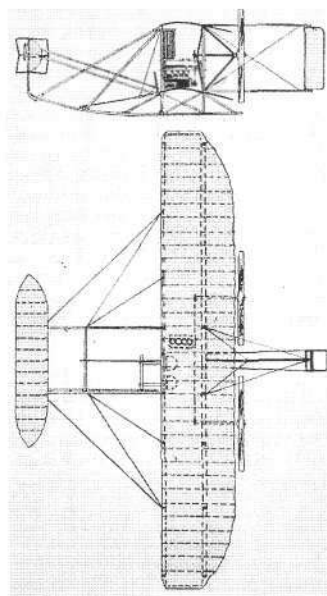
Architetti: Centro costruzioni ferroviarie, Gruppo di progetto MBS, Francoforte sul Mene

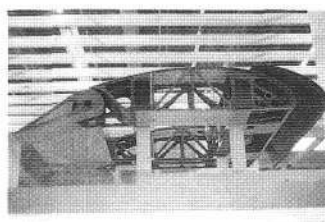
ingegneri strutturisti:
Harries & Kinkel GmbH, Neu-lsenburg,
Hoizbau Rinn, Heuchelheim

Come variante di avancorpo libero con rinforzo ausiliario per la realizzazione del cavalletto del ponte della ferrovia venne scelta un'intelaiatura portante di legno, sulla quale è incementata simmetricamente una sezione modulare in calcestruzzo. La struttura portante lunga 100 m, alta 60 m e larga soltanto 7 m è stabilizzata da entrambi i lati con rinforzi trasversali mediante cavi di acciaio pretensionati ad andamento parallelo che si riuniscono in due punti dì ancoraggio su pareti perlinate. Montanti di legno tondo e diagonali di acciaio formano l'elemento di base per la sottostruttura a tre piani. Una struttura di puntoni di legno tondo supporta lo stato di arcarecci del tavolato. La connessione al saettone in legno squadrato avviene per mezzo di spessori di legno e incastri. Contraffissi di acciaio chiodati formano una rete di diagonali tese per garantire l'effetto telaio in direzione longitudinale e trasversale. Le presse che agiscono in senso verticale e orizzontale consentono di compensare le deformazioni e di abbassare l'impalcatura.

1 Montante in legno tondo ∅ 27-40
2 Legno squadrato del piano 26/36
3 Trave trasversale 8/28
4 Tirante in acciaio 60/2 mm
5 Montante obliquo in legno tondo ∅ 25
6 Montante verticale in legno tondo ∅ 25
7 Spessore di legno
8 Vite da legno 12 × 200 mm
9 Piastra chiodata di lamiera
10 Spina

Montaggio di centinature

Centinatura a torre in legno tondo e squadrato

Traliccio ad arco romboidale multiplo in legno squadrato

Irrigidimento del traliccio ad arco

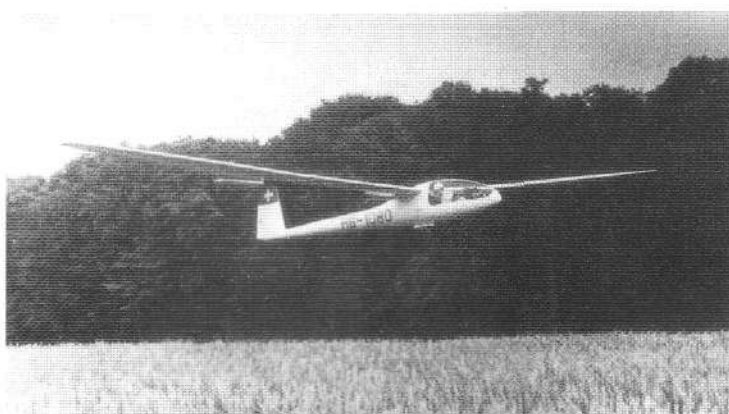
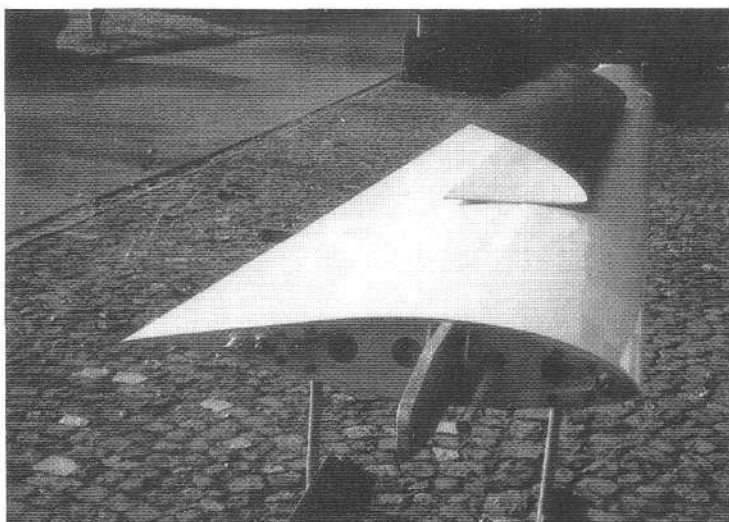
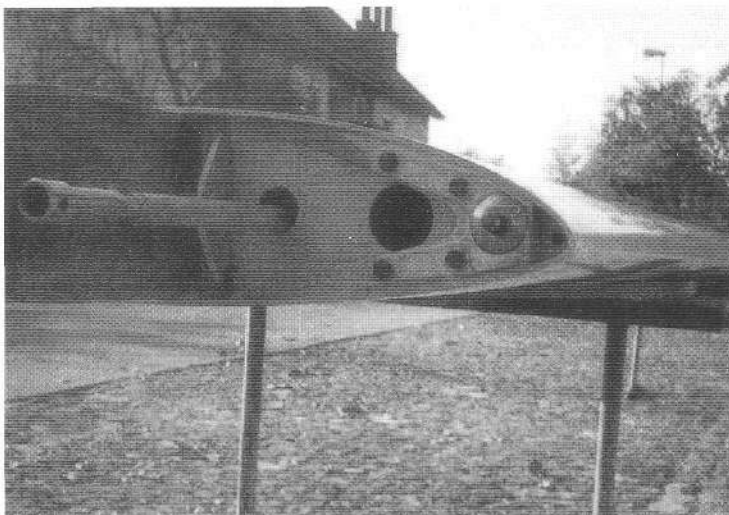
Montaggio

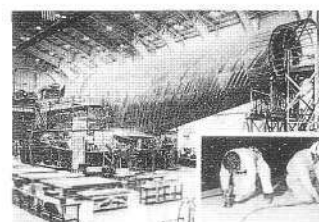
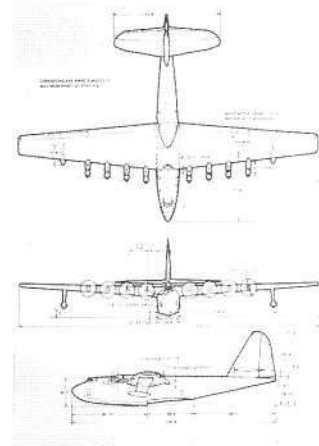
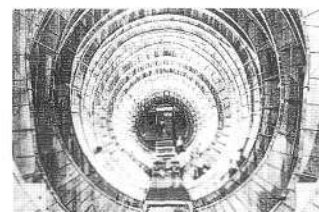
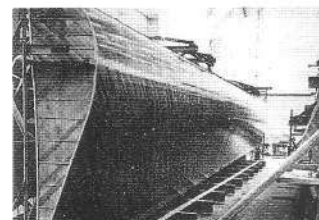
Tipo standard A - Wright

Il volo di Orville verso Berlino

Velivolo sportivo

Sezione della superficie alare

133 • Aliante

Costruttori: A. Markwalder, Räterschen, Svizzera;
H. Berchthold, Mànikon, Svizzera

Aliante con apertura alare di 17 m e portanza di 23 kg/m^2. Percentuali di materiale utilizzato: 70% legno, 20% materiale sintetico, 10% metalli diversi. Parte della fusoliera e del profilo di entrata anteriore dell'ala sono in legno multistrato composto da sette strati di okume spessi 3 mm, incollati con resina resorcinica in una membrana ad andamento conico, doppiamente ricurva. Il peso ridotto del legno rispetto al poliestere ha incrementato la portanza di 2 kg/m^2. Utilizzando legno multistrato si è inoitre evitata la formazione di fessurazioni nelle superfici alari di poliestere in seguite a sollecitazione di flessione.

Spruce Goose

Apertura alare: 97,5 m
Lunghezza totale: 66,7 m
Altezza totale: 24,2 m
Velocità di volo a 5000 piedi: 370 km/h
Velocità massima sul mare: 355 km/h

Montaggio della fusoliera del velivolo

Anelli di rinforzo

Superficie alare

Primo volo il 2 novembre 1947

Parte 5 • Esempi di facciate

Thomas Herzog, Michael Volz

I seguenti esempi rappresentano una scelta di diverse costruzioni di facciate che sono state realizzate in anni recenti. In alcuni casi sono mostrati progetti precedenti per evidenziarne particolari caratteristiche. La sequenza è stata stabilita in base alle crescenti complessità della struttura tecnica e all'aumentata trasparenza e leggerezza delle costruzioni. L'elenco degli esempi di facciate è riportato nella tavola sinottica a pagina 275, con l'indicazione delle caratteristiche principali. Nei progetti viene rappresentata la costruzione con la sua geometria, la struttura, gli strati e tutte le connessioni essenziali. Per rendere ben leggibile il contesto delle diverse parti, le sezioni orizzontali sono inserite tra quelle verticali e separate da linee per agevolarne la lettura.
Alcuni progetti sono disegnati in modo assonometrico, perché la correlazione tra i singoli elementi strutturali è più facilmente riconoscibile per mezzo della rappresentazione nello spazio. Non tutte le geometrie di edifici consentono una semplice rappresentazione grafica. Per facilitare l'orientamento, i corpi di costruzione sono rappresentanti sotto forma di piccole sezioni schematiche con indicazione dei dettagli, in questo modo è stato possibile mostrare anche la loro collocazione sulla facciata, che nella progettazione ha condizionato ad esempio la forma e il tipo di misure di protezione strutturale del legno. Uno dei criteri importanti che hanno improntato la scelta è stato la precisione tecnica e fisica impiegata nella realizzazione delie costruzioni. Tuttavia, a volte, alcune questioni rimarranno aperte, poiché la struttura delle facciate è largamente influenzata dalle condizioni marginali. Vogliamo quindi sottolineare il fatto che le rappresentazioni costituiscono soltanto degli esempi e non vogliono essere delle ricette. Per ogni nuovo progetto l'architetto e l'ingegnere sono tenuti a chiarire per prima cosa le condizioni marginali per potere quindi garantire la migliore realizzazione. Tutti i dettagli corrispondono ai piani predisposti dal progettista. A volte verrà richiamata l'attenzione del lettore su eventuali punti deboli. Le descrizioni del progetto e dei materiali sono tratte dalla documentazione fornitaci.

Tutte le sezioni di particolari sono in scala 1:20.

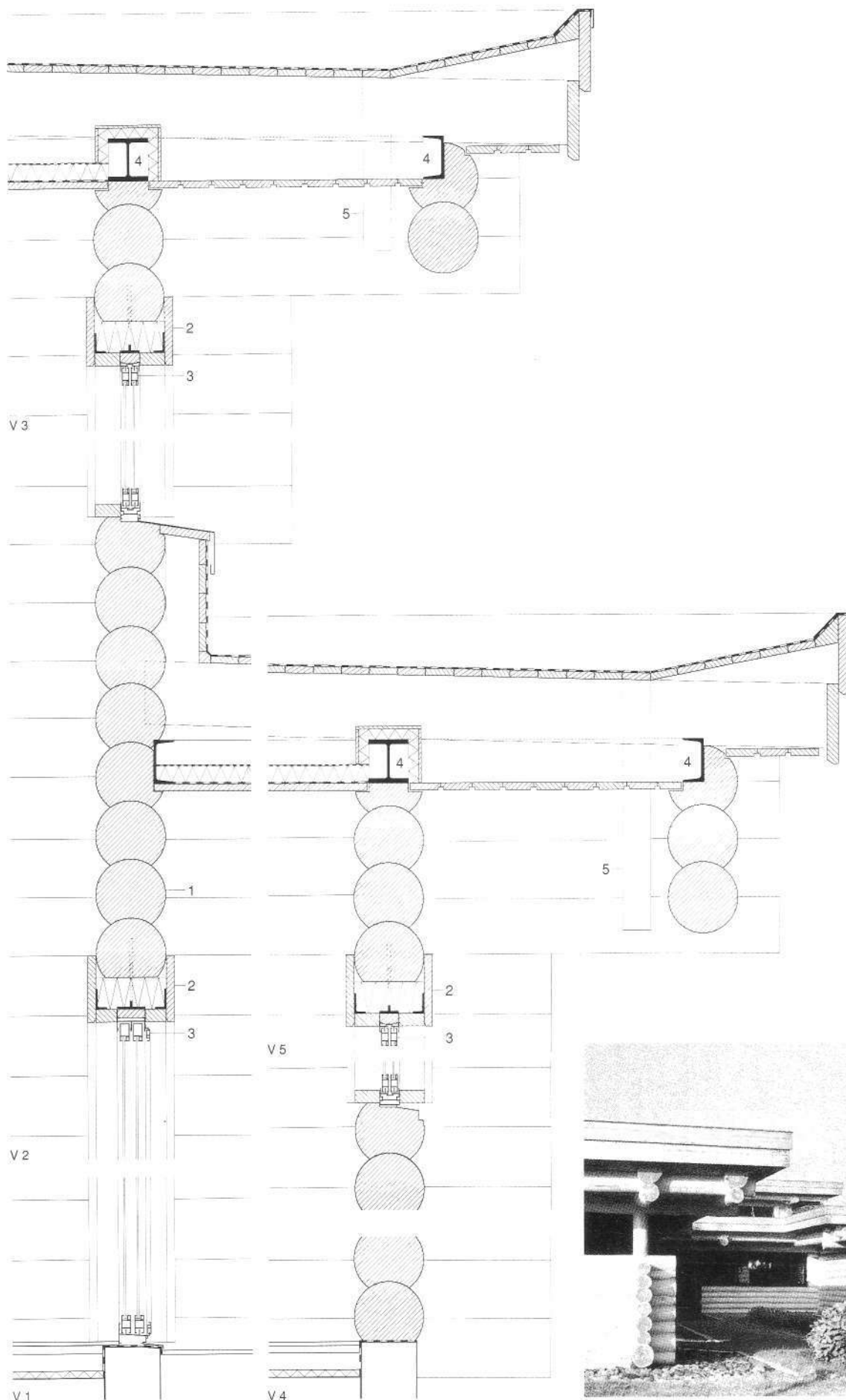
Esempi di facciate [1] – Tavola sinottica

Sistemi costruttivi
Costruzione a blocchi 1
Costruzione a montanti e correnti 2
Costruzione a telaio 3
Piattaforma 4
Costruzione a pannelli 5
Struttura portante interamente o parzialmente in acciaio/cemento armato 6

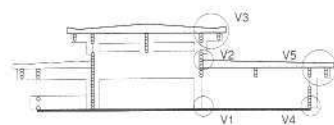
N.	Esempio	Sistemi costruttivi	Struttura		Posizione della facciata rispetto alla struttura portante				Rivestimento esterno					Andamento del rivestimento esterno			Rivestimento interno		Sezione del montante					Sezione della trave					Elementi strutturali prefabbricati	Pagina
			senza intercapedine	con intercapedine	Strutt. portante e facciata integrate	integrata nella struttura portante	posizione variabile	esterna alla struttura portante	Scandole	Rivestimento di assicelle	Tavolato a lembi sovrapposti	Tavolato profilato	Pannelli	verticale	orizzontale	diagonale	Tavolato profilato	Pannelli	circolare	quadrata, rettangolare	composta	scanalata	profilata	circolare	quadrata, rettangolare	composta	scanalata	profilata		
1	Ristorante a Karuizawa, Giappone	1	•		•																									276
2	Casa per vacanze a Chino, Giappone	2		•															•			•		•			•			277
3	Casa per vacanze ad Hakone Kanagawa, Giappone			•		•						•			•		•		•			•		•			•			278
4	Casa di abitazione a Brasilia, Brasile		•			•													•			•			•					279
5	Casa unifamiliare a Bensberg, Germania	5		•	•							•		•				•											•	280
6	Complesso di abitazioni e studi a Parigi, Francia	3		•	•							•		•				•												281
7	Casa modulare a Bad Iburg, Germania			•	•							•		•			•												•	282
8	Casa di abitazione a Darien, Connecticut, Stati Uniti	4		•	•							•		•				•												283
9	Casa parrocchiale e della comunità a Fürth, Germania			•		•					•				•			•		•					•				•	284
10	Casa parrocchiale a Ebersberg, Germania			•			•				•				•		•			•					•					285
11	Cimitero a Eching, Germania			•		•				2)				•			•			•					•					286
12	Centro di incontro giovanile a Michelrieth, Germania			•		•				•				•			•			•					•					287
13	Casa di abitazione a Graz-Hart/St. Peter, Austria			•		•				•				•			•			•					•					288
14	Casa bifamiliare a Ebenhausen, Germania			•		•				•				•				•		•					•					289
15	Centro di radiotrasmissione, Brauneck, Germania			•				•	•									•			•				•					290
16	Club e ippodromo a Ecublens, Svizzera			•		•						•			•		•				•				•				•	291
17	Casa unifamiliare con foresteria a Bad Homburg, Germania			•		•							•					•		•		•			•		•			292
18	Laboratorio a Zorneding, Germania			•		•						•		•			•				•				•					293
19	Edificio con cinque appartamenti a Eching, Germania			•		•							•					•		•					•				•	294
20	Casa di abitazione ad Aquisgrana, Germania			•		•						•				•	•			•			•		•					295
21	Edificio per uffici a Monaco, Germania			•		•							•					•		•			•		•					296
22	Scuola a Dischingen, Germania			•		•					•				•		•			•			•		•				•	297
23	"Grüne Häuser" a Berlino, Germania			•		•							•		•			•		•			•		•					298
24	Casa di abitazione, foresteria e capanno a Celle, Germania			•		•				•				•			•			•			•		•			•		299
25	Villaggio di vacanze giovanile a Cieux, Haute Vienne, Francia							•													•				•					300
26	Casa di abitazione a Brest, Francia			•		•						•		•			•	•		•					•					301
27	Casa di abitazione a Cambridge, Gran Bretagna		•				•														•				•					302
28	Sea Ranch in California, Stati Uniti			•				•				•		•			•			•					•					303
29	Casa di abitazione a Gmund sul lago Tegern, Germania	6						•													•				•					304
30	Casa di abitazione a Glonn-Haslach, Germania	6		•				•				•		•			•													305
31	Ufficio distrettuale di Starnberg, Germania	6		•				•					•					•		•					•					306
32	Edificio industriale a Gelting, Germania	6		•				•				•		•				•							•					307
33	Casa per vacanze a Breitbrunn, Germania			•				•					•					•		•					•				•	308
34	Edificio della dogana ferroviaria a Sciaffusa, Svizzera			•		•							•					•		•			•						•	309
35	Gruppo di case di abitazione a Monaco-Perlach, Germania			•			•	•			•				•			•		•					•					310
36	Casa di abitazione a Braunschweig, Germania			•		•							3)					•		•					•					311
37	Centro di formazione per giovani a Windberg, Germania			•		•					•				•			•		•					•					312
38	Casa di abitazione a Ratisbona, Kumpfmühl, Germania			•		•						•			•			•		•					•					313
39	Centro residenziale a Monaco, Germania			•		•						•			•			•		•					•					314
40	Casa di abitazione a Waldmohr, Germania			•		•						•			•		•			•		•			•		•			316
41	Casa bifamiliare a Pullach, Germania			•		•							•		•			•		•		•			•					318
42	Sito trasformato in abitazione a Lukasöd, Germania			•	•												•													320
43	Padiglione itinerante IBM		•		•																									321
44	Casa per il fine settimana a Göd, Ungheria			•			•		•								•		•					•	•					322
45	Centro culturale a Visegrad, Ungheria			•															•											323
46	Edificio amministrativo, torre panoramica e museo a Bük, Ungheria			•		•			•																					324

1) Denominazione secondo l'indicazione del progettista.

2) Rivestimento con listelli inverso.

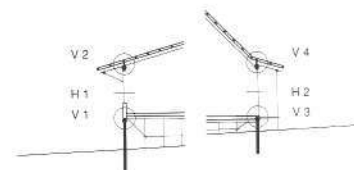
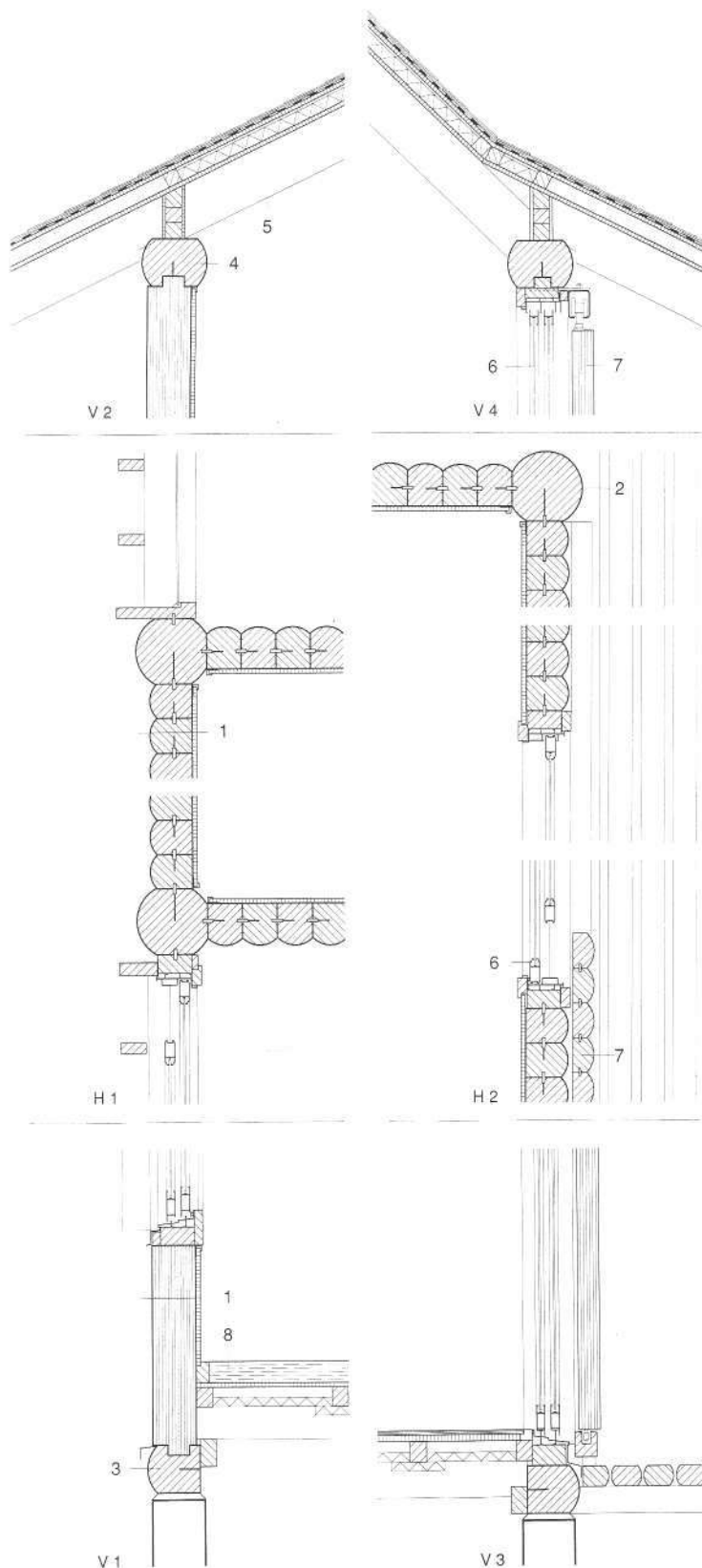
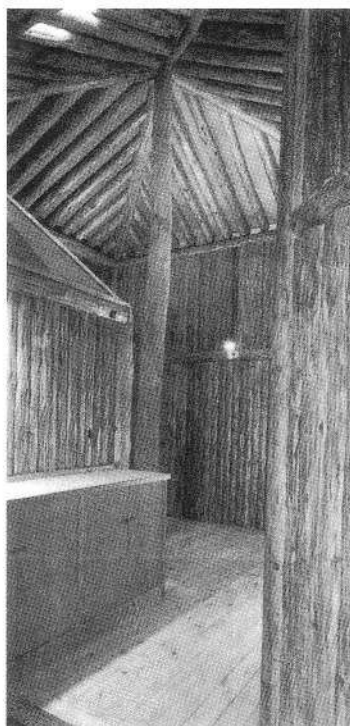
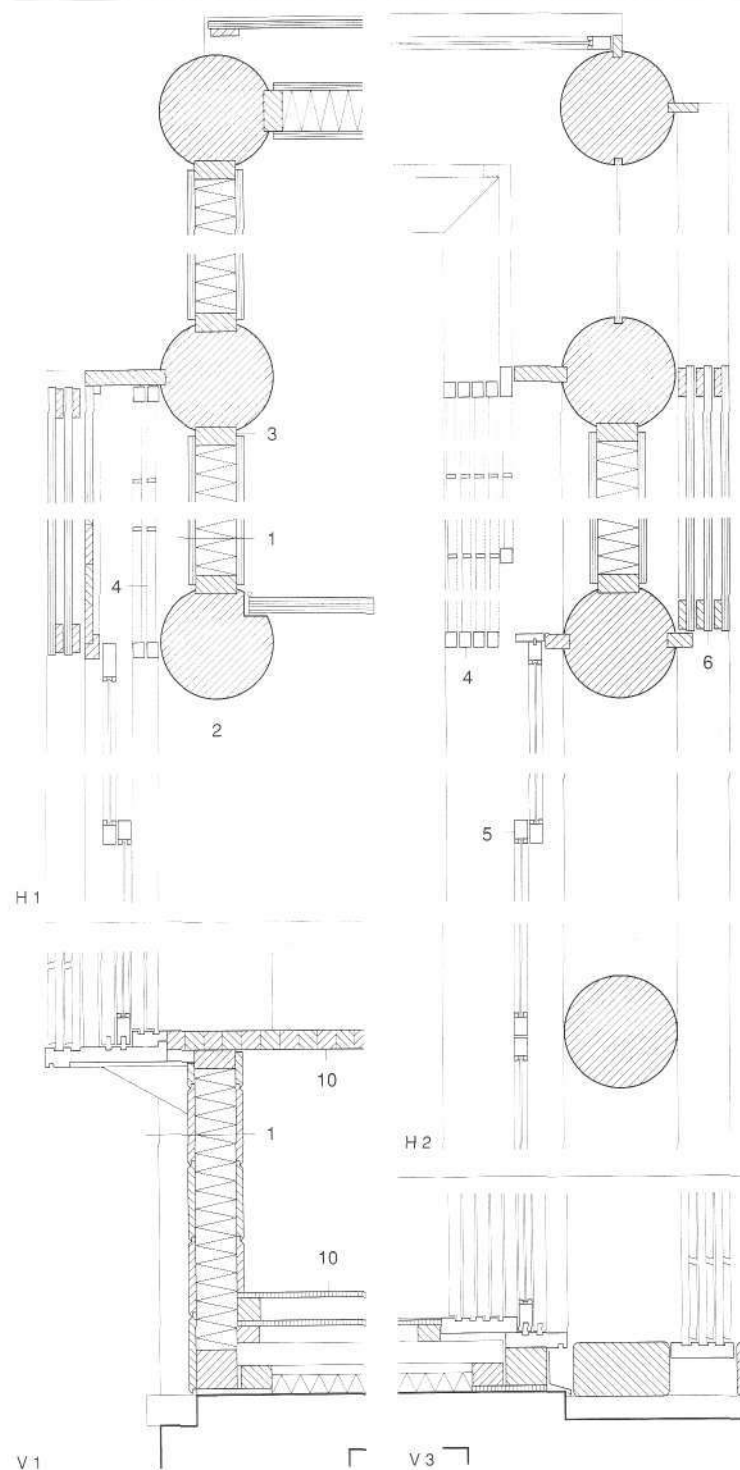
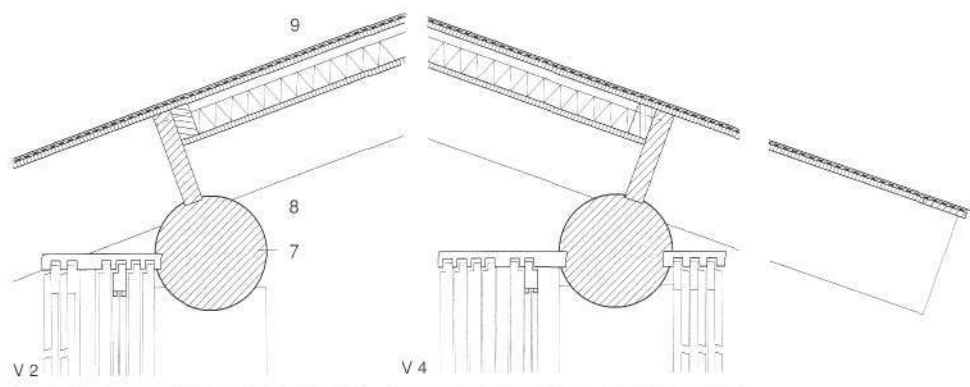
3) Lamiera trapezoidale.

1 • Ristorante

Karuizawa, Giappone; 1974

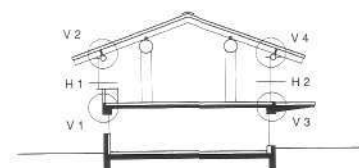
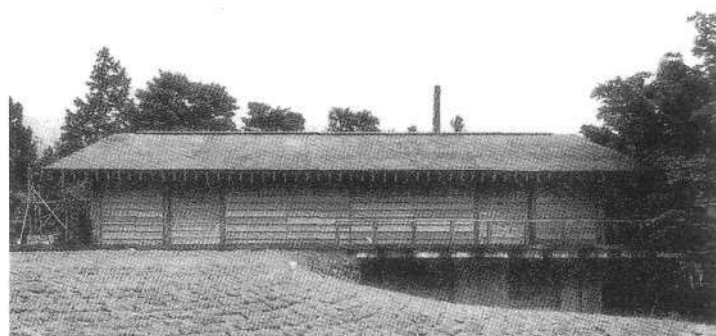
Architetti: Siren Architekten, Helsinki

1 Tronchi a sezione circolare da 10" (25,4 cm)
2 Cornice senza collegamento rigido alla costruzione portante per l'assorbimento dei movimenti da rigonfiamento e ritiro dei tronchi
3 Finestre e porte di alluminio
4 Protezione antisismica in telai di profili di acciaio con collegamento alle fondamenta
5 Drenaggio del tetto

2 • Casa per vacanze

Chino, Giappone; 1983

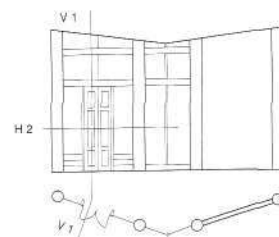
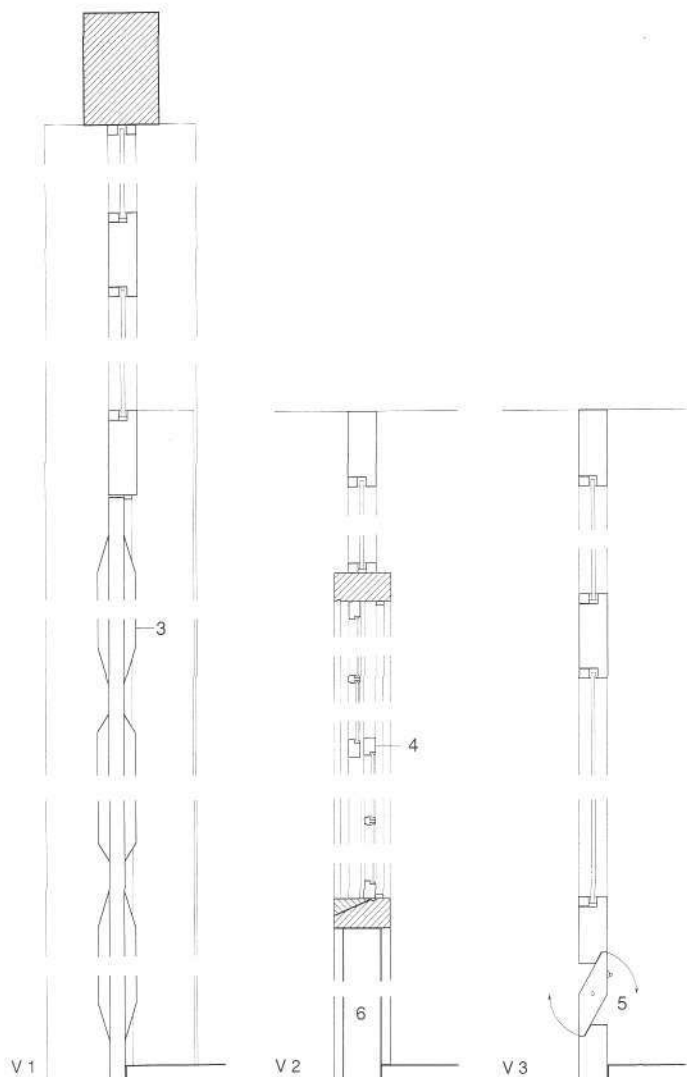
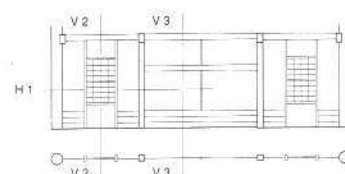
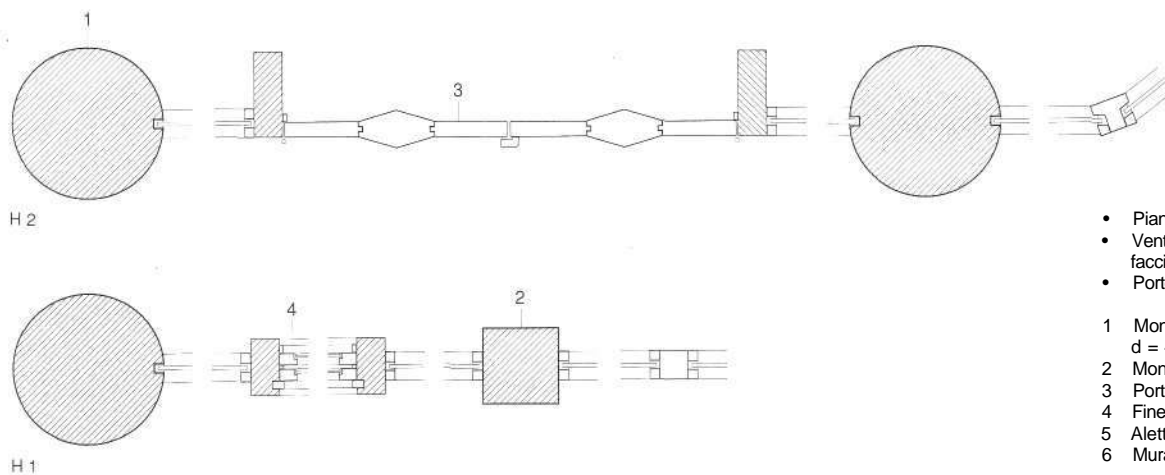
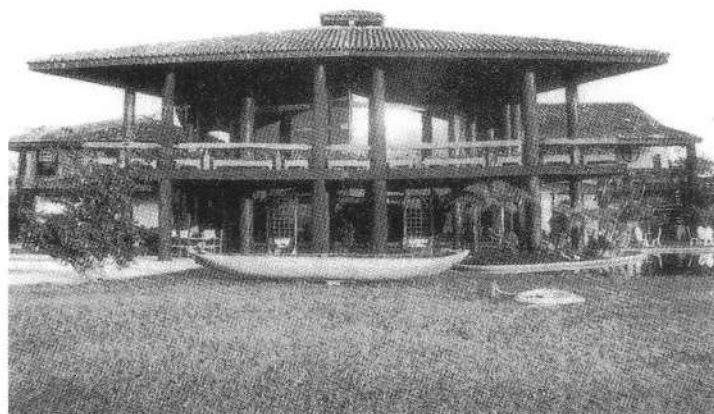
Architetto: Masamitsu Nagashina, Tokyo
Collaborazione: H. Seki

- Reticolo: 90 cm
- Modulo: 9 cm
- Parete semplice di tavoloni esternamente e in parte internamente a vista con elementi in legno massello lasciati rotondi da un lato o dai due lati

1 Parete esterna: 130 mm
Rivestimento di tela
Pannelli di compensato 12
Tronchi d = 135, segati sui tre lati con fresatura di stabilizzazione e linguette
2 Montante d'angolo d = 210
3 Trave orizzontale d = 180
4 Arcareccio di gronda s = 180
5 Travetto di legno a sezione circolare d = 180
6 Porta scorrevole con profilo di allumino
7 Persiana scorrevole composta da tronchi segati sui tre lati
8 Tatami - stuoie di misura standard per il pavimento

3 • Casa per vacanze

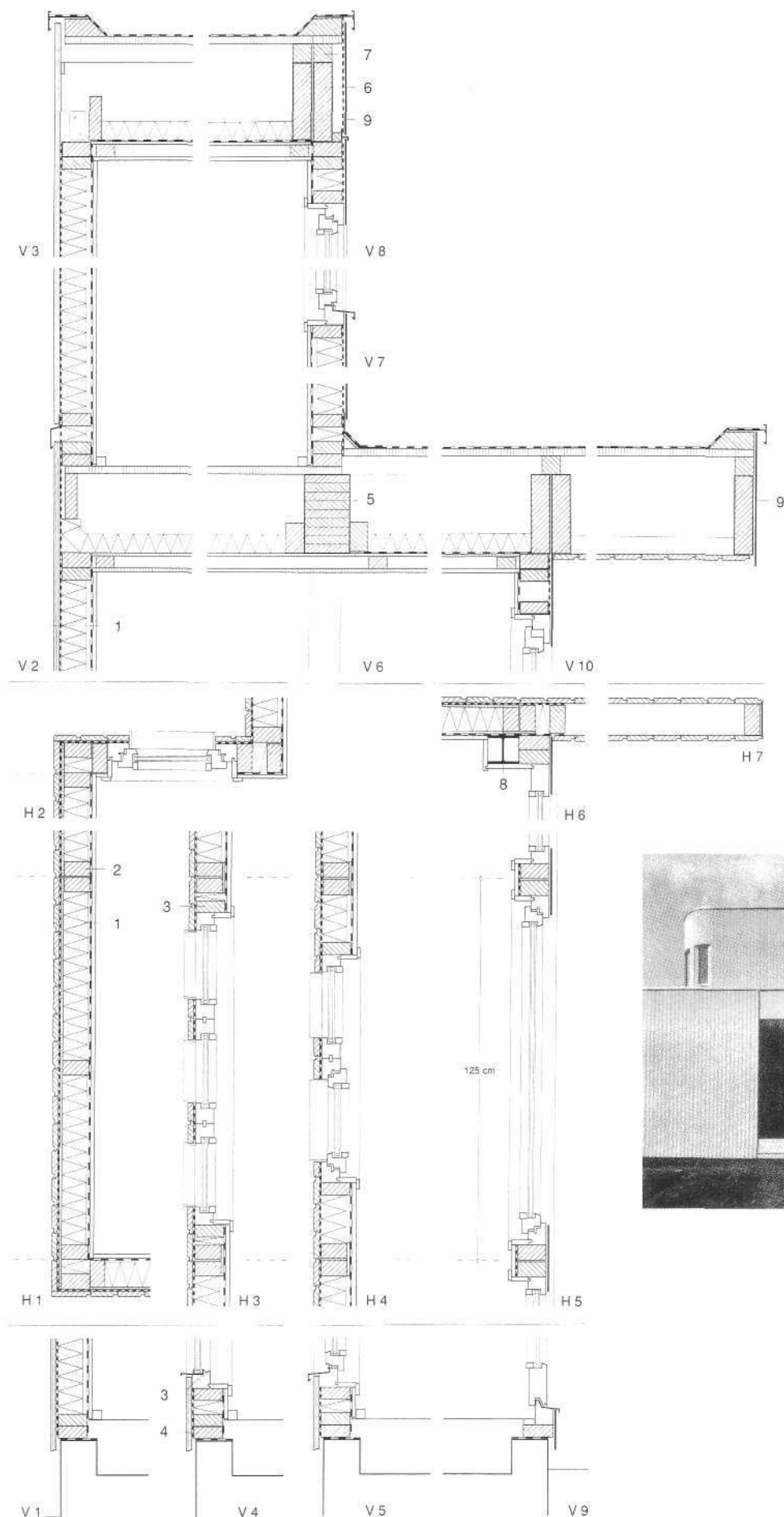
Hakone, Kanagawa, Giappone; 1980

Architetto: Masahiro Chatani, Politecnico di Tokyo

- Reticolo: 215 cm e 430 cm
- Possibilità di ampie aperture grazie alla disposizione scalare di porte e persiane scorrevoli

1 Parete esterna: 150 mm
  Rivestimento 20/200, orizzontale
  Isolamento termico 110
  Rivestimento 20/200, orizzontale
2 Montanti in legno a sezione circolare, d = 300
3 Elemento ligneo di connessione 50/110
4 Porta scorrevole in carta di riso
5 Porta scorrevole, vetrata semplice
6 Persiana scorrevole
7 Arcarecci di legno a sezione circolare. d = 300
8 Travetto 80/180
9 Copertura in lamiera di rame
10 Mobile a incasso
11 Traversine ferroviarie

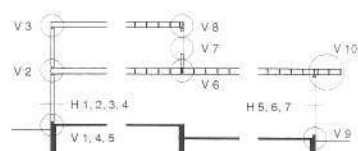
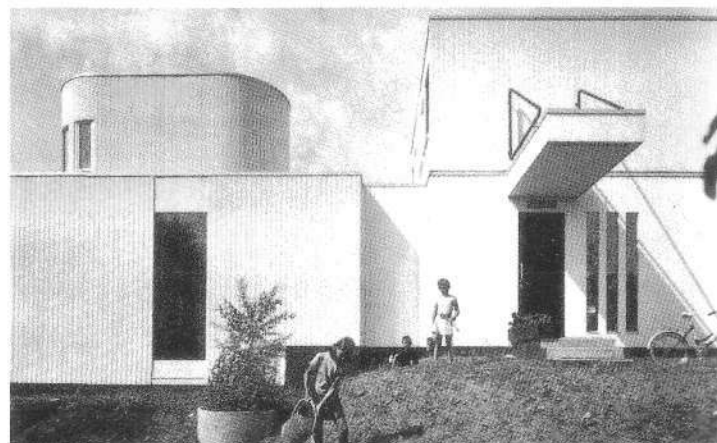
4 • Casa di abitazione

Brasilia, Brasile; 1975

Architetto: José Zarine Caldas, Brasilia

Sezione di facciata: primo piano

Sezione di facciata: piano terra

- Pianta ottagonale con copertura a stei a
- Ventilazione costante alla base della facciata (regione con clima caldo e umidoi
- Porte e finestre in legno di cedro

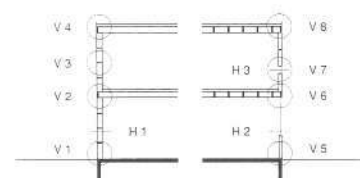
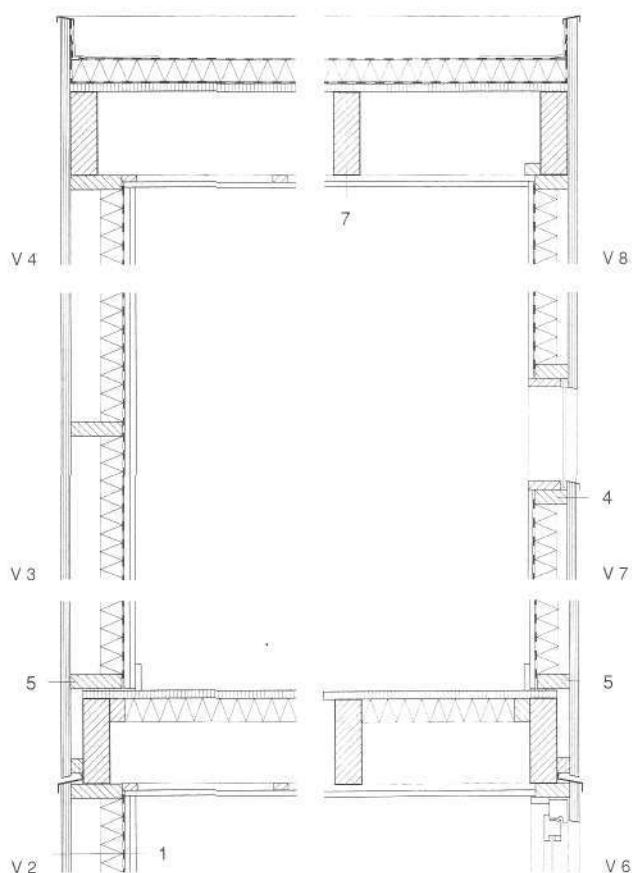
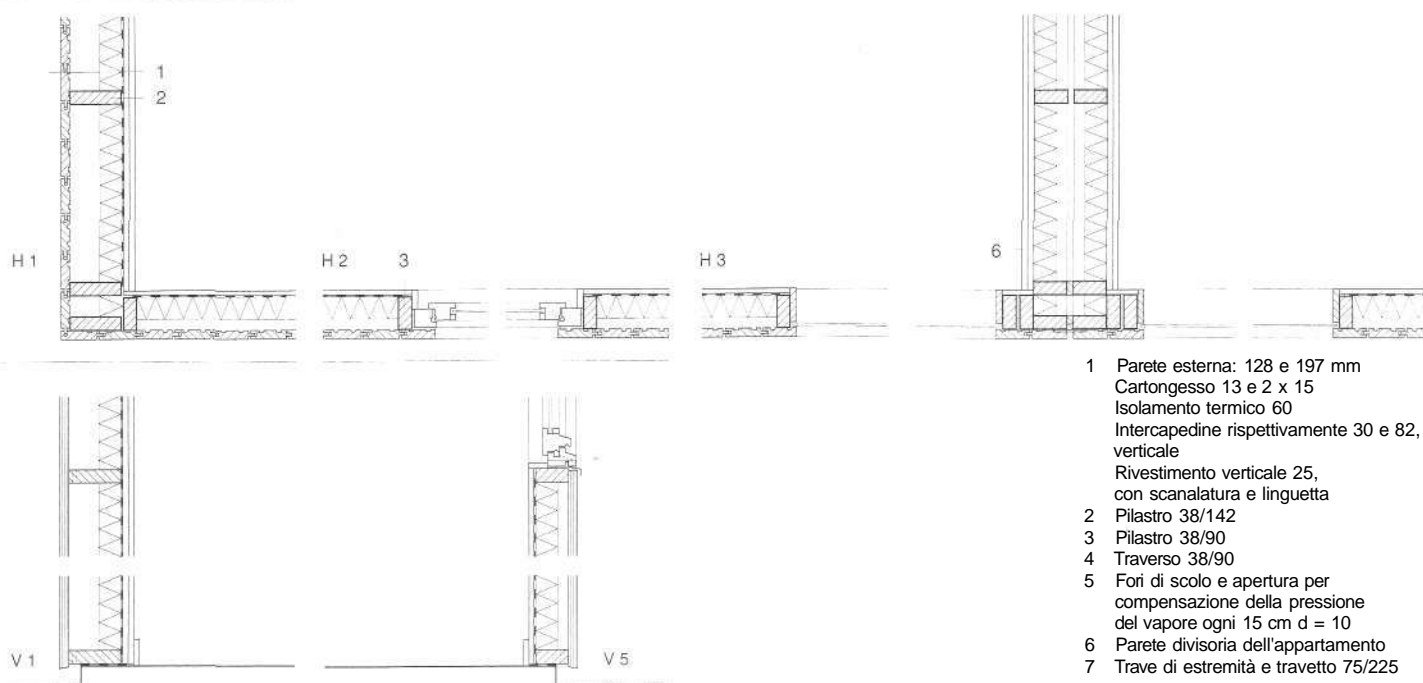
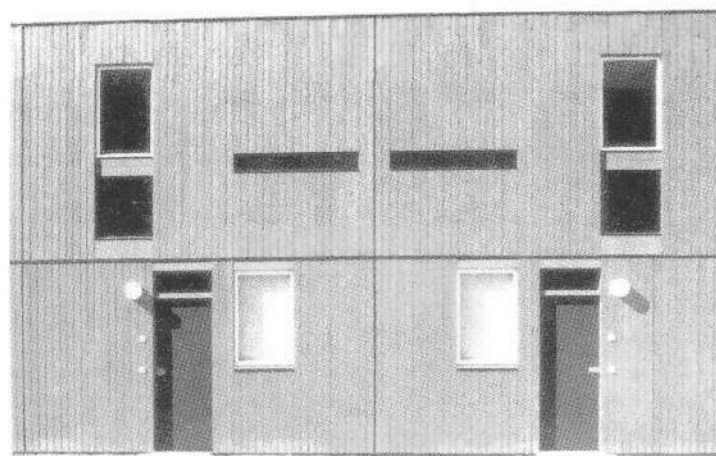
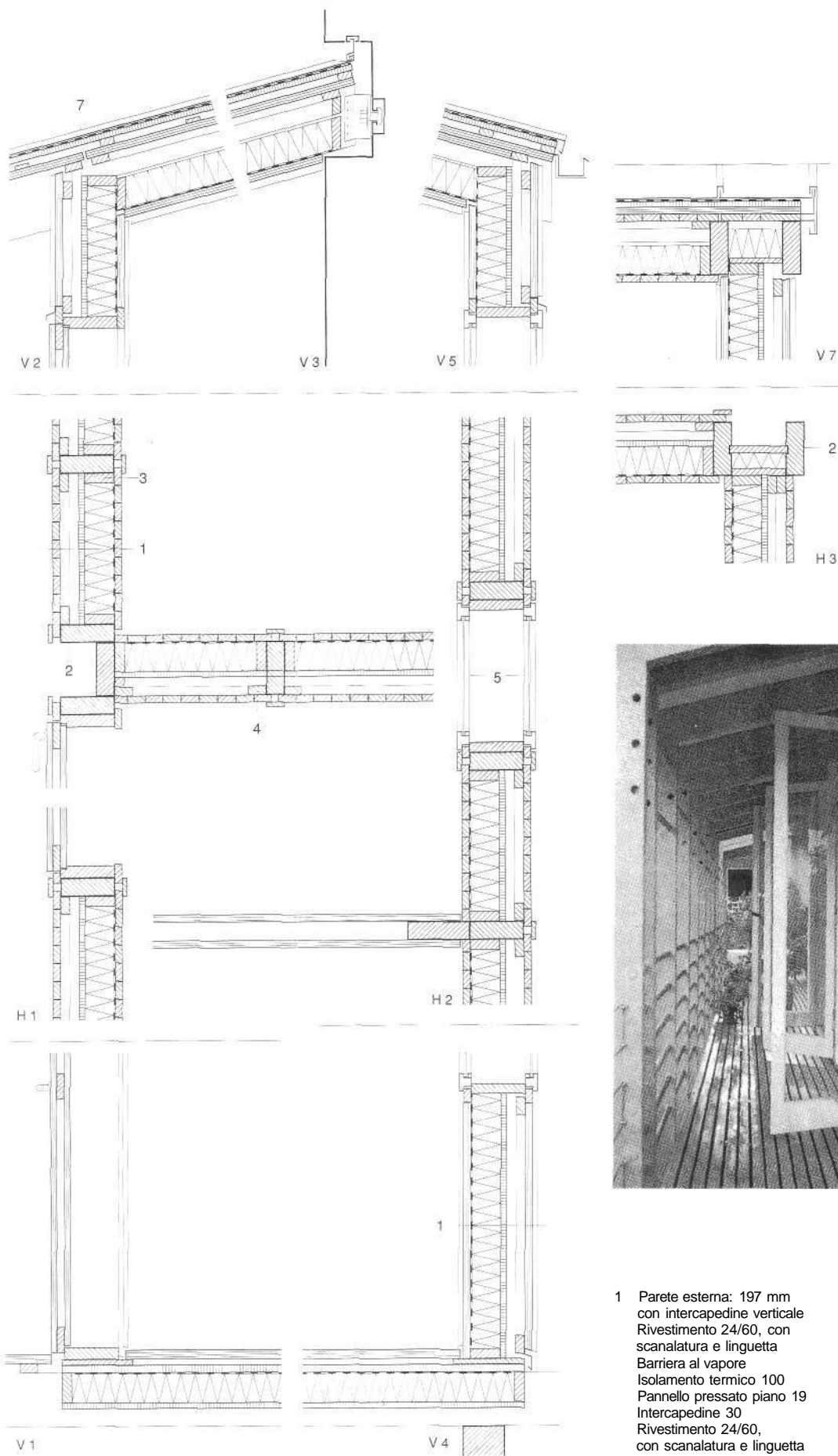
1 Montante di legno a sezione circolare d = 40
2 Montante 20/20
3 Porte in legno massello
4 Finestra scorrevole verticale
5 Alette orientabili
6 Muratura, intonacata

5 • Casa unifamiliare

Bensberg, Germania; 1970

Architetto: Wolfgang Döring, Düsseldorf

- Reticolo: 125 cm
- Elementi di parete prefabbricati alti quanto il piano e lunghi quanto il locale, soltanto le assi del rivestimento esterno sono state montate sulle giunzioni in cantiere
- Profilo verticale arrotondato standardizzato con scanalatura e linguetta
- Rivestimento esterno verniciato di bianco coprente

1 Parete esterna: 130,5 mm
Pannello di cartongesso 12,5
Barriera impermeabile di carta oleata
Intercapedine 12
Isolamento termico 80
Pannello di truciolato 8
(campate di irrigidimento)
Rivestimento 18, con scanalatura e linguetta
2 Pilastro 50/80, 92, 100
3 Pilastro di collegamento 40/80, 92, 100
4 Soglia 40/100
5 Trave 150/260, lamellare
6 Trave 60/260
7 Cuneo
8 Profilo di irrigidimento IPBI 100
9 Fibrocemento

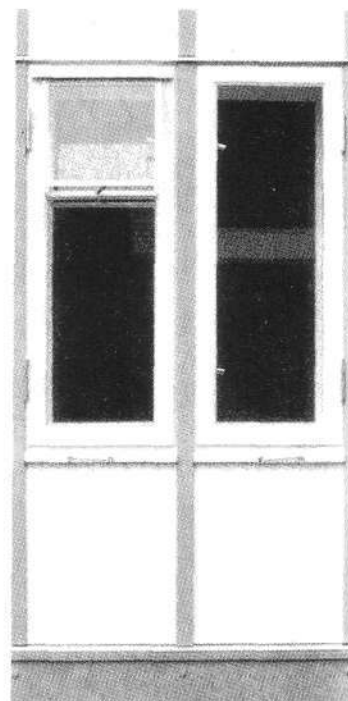
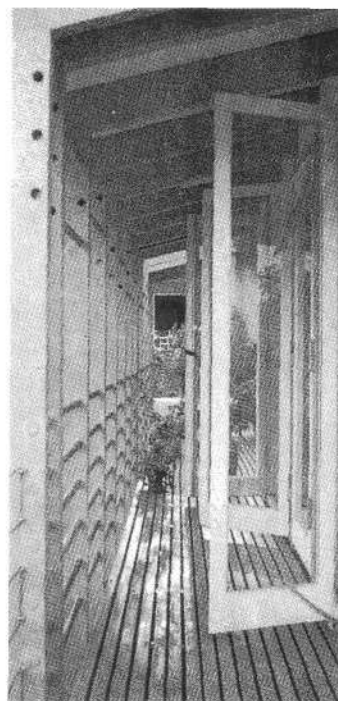
6 • Complesso di abitazioni e studi

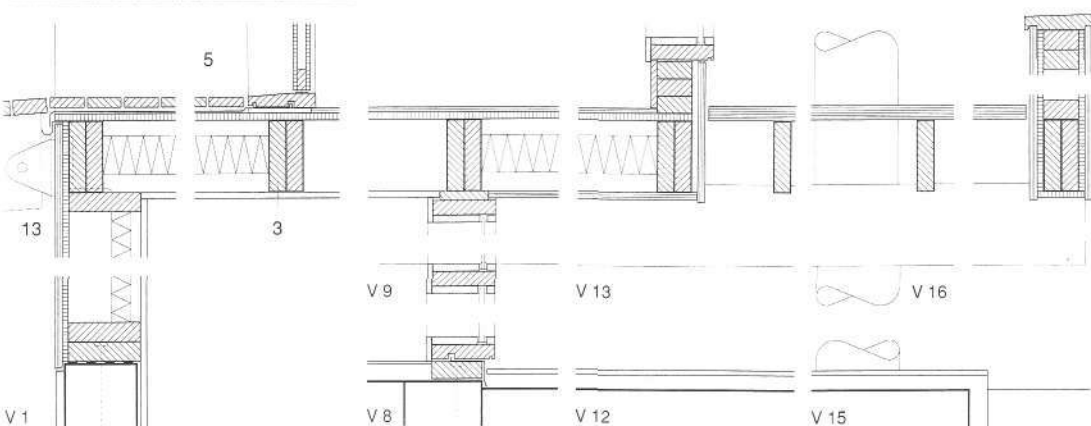
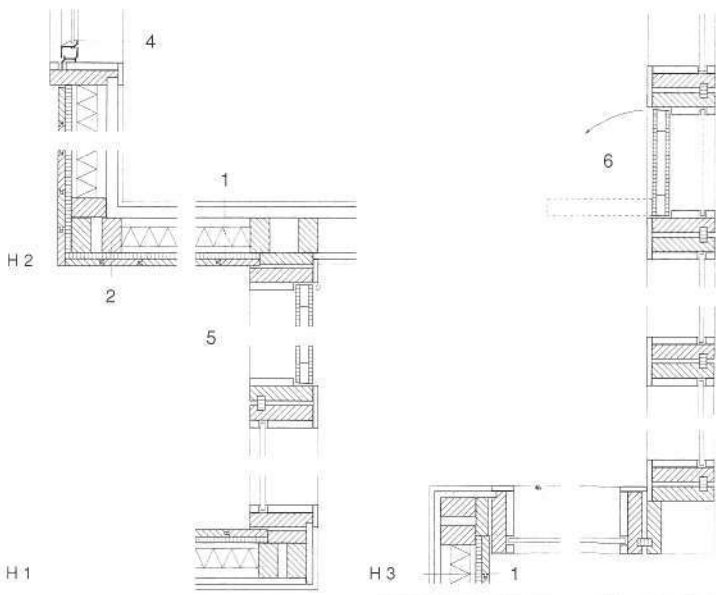
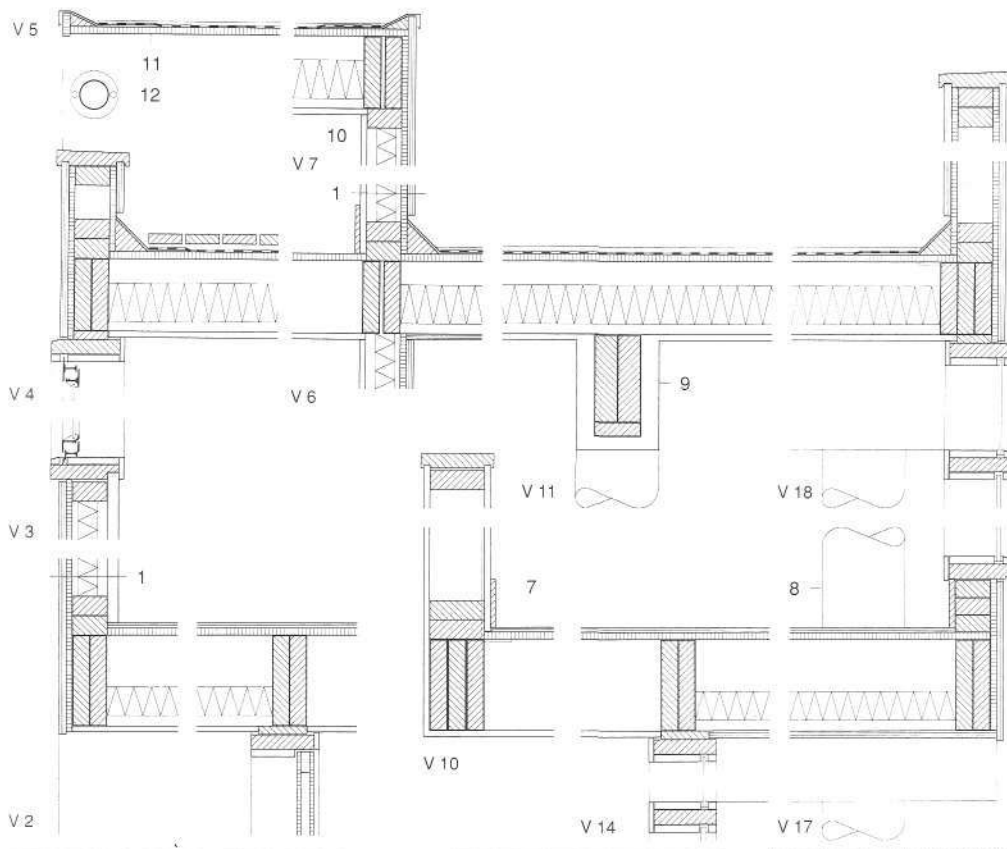
Parigi, Francia; 1979-83

Architetto: Roland Schweitzer, Parigi
Collaborazione: A. Levandowsky

- Reticolo: 60 cm
- Pilastri nelle pareti trasversali e nei muri divisori portanti: e = 60 cm
- Rivestimento esterno verniciate di rosso trasparente
- Costi di costruzione molto ridotti

1 Parete esterna: 128 e 197 mm
Cartongesso 13 e 2 x 15
Isolamento termico 60
Intercapedine rispettivamente 30 e 82, verticale
Rivestimento verticale 25, con scanalatura e linguetta
2 Pilastro 38/142
3 Pilastro 38/90
4 Traverso 38/90
5 Fori di scolo e apertura per compensazione della pressione del vapore ogni 15 cm d = 10
6 Parete divisoria dell'appartamento
7 Trave di estremità e travetto 75/225

7 • Casa modulare

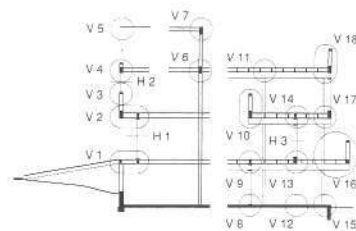
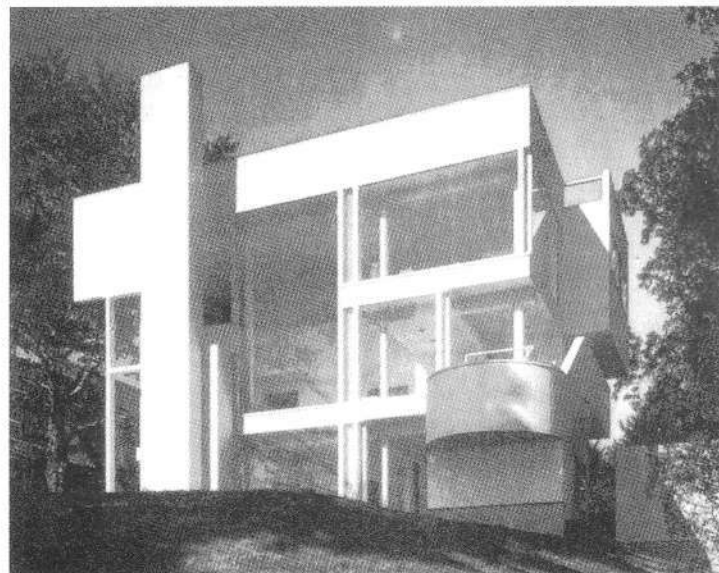
Bad Iburg, Germania; 1989

Architetto: Eberhard Stauß, Monaco
Collaborazione: U. Wangler

- Reticolo della costruzione in legno: 60 cm
- Collegamento degli elementi strutturali in muratura con la costruzione leggera in legno
- Costruzione della facciata, del pavimento e del tetto a elementi
- Doppie finestre

1 Parete esterna: 197 mm con intercapedine verticale
Rivestimento 24/60, con scanalatura e linguetta
Barriera al vapore
Isolamento termico 100
Pannello pressato piano 19
Intercapedine 30
Rivestimento 24/60, con scanalatura e linguetta

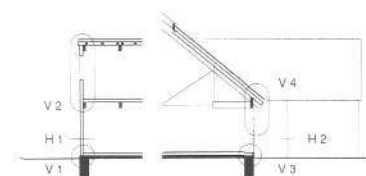
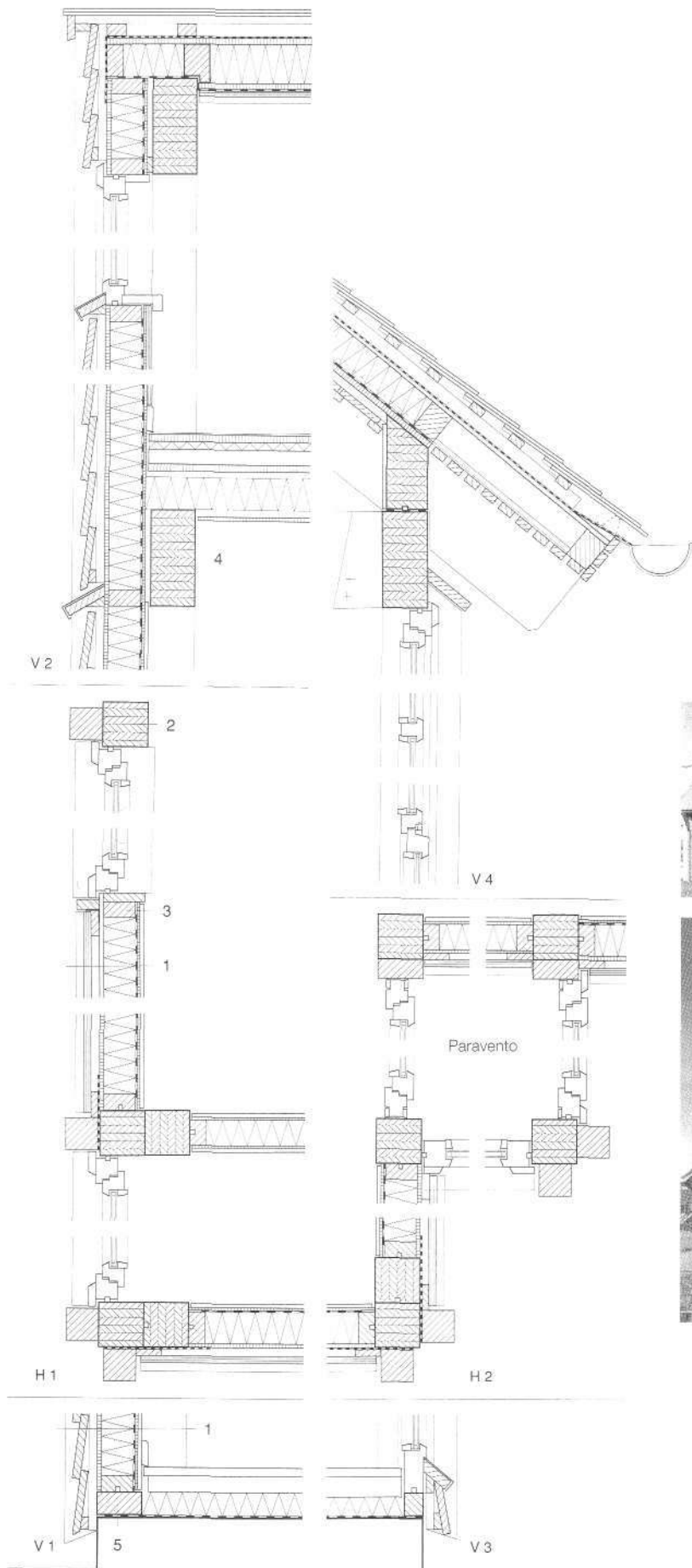
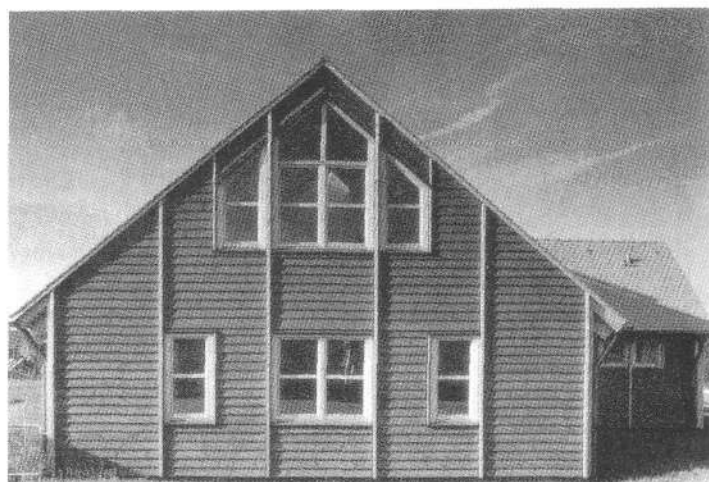
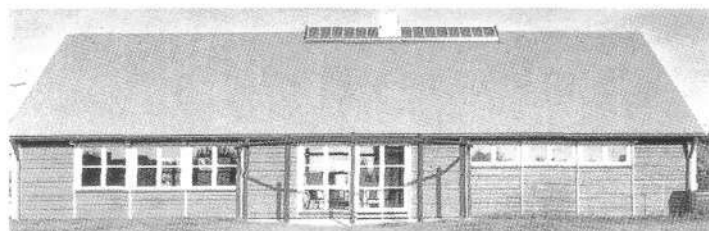
2 Montante 180/60
3 Pilastro 100/30
4 Listello 60/30
5 Doppia finestra
6 Fori per aste di ringhiera
7 Copertura in lamiera con pieghe verticali

8 • Casa di abitazione

Darien, Connecticut, Stati Uniti: 1967

Architetto: Richard Meier, New York

- Costruzione a piattaforma e telaio
- Impiego di profili di legno standardizzati
- A eccezione dell'assito del pavimento tutti gli elementi di legno e metallo a vista sono verniciati di bianco

1 Parete esterna: 5 5/8" (142,8 mm)
Cartongesso 5/8"
Intercapedine
Isolamento termico 2"
Intercapedine
Pannellatura in compensato 5/8"
Rivestimento 3/4" x 4", verticale, con scanalatura e linguetta
2 Montanti, traversi 1 1/2" x 3 1/2"
3 Travetto
4 Finestra girevole in acciaio
5 Porta d'ingresso
6 Deflettore di ventilazione
7 Galleria
8 Montante in tubo di acciaio 8 5/8"
9 Trave 2 x 3/10", legno di tamponamento, tessuto metallico, intonaco
10 Vano scale
11 Tettoia sopra la terrazza sul tetto
12 Parapetto, tubo di acciaio 3"
13 Collegamento ponte

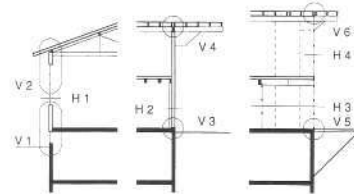
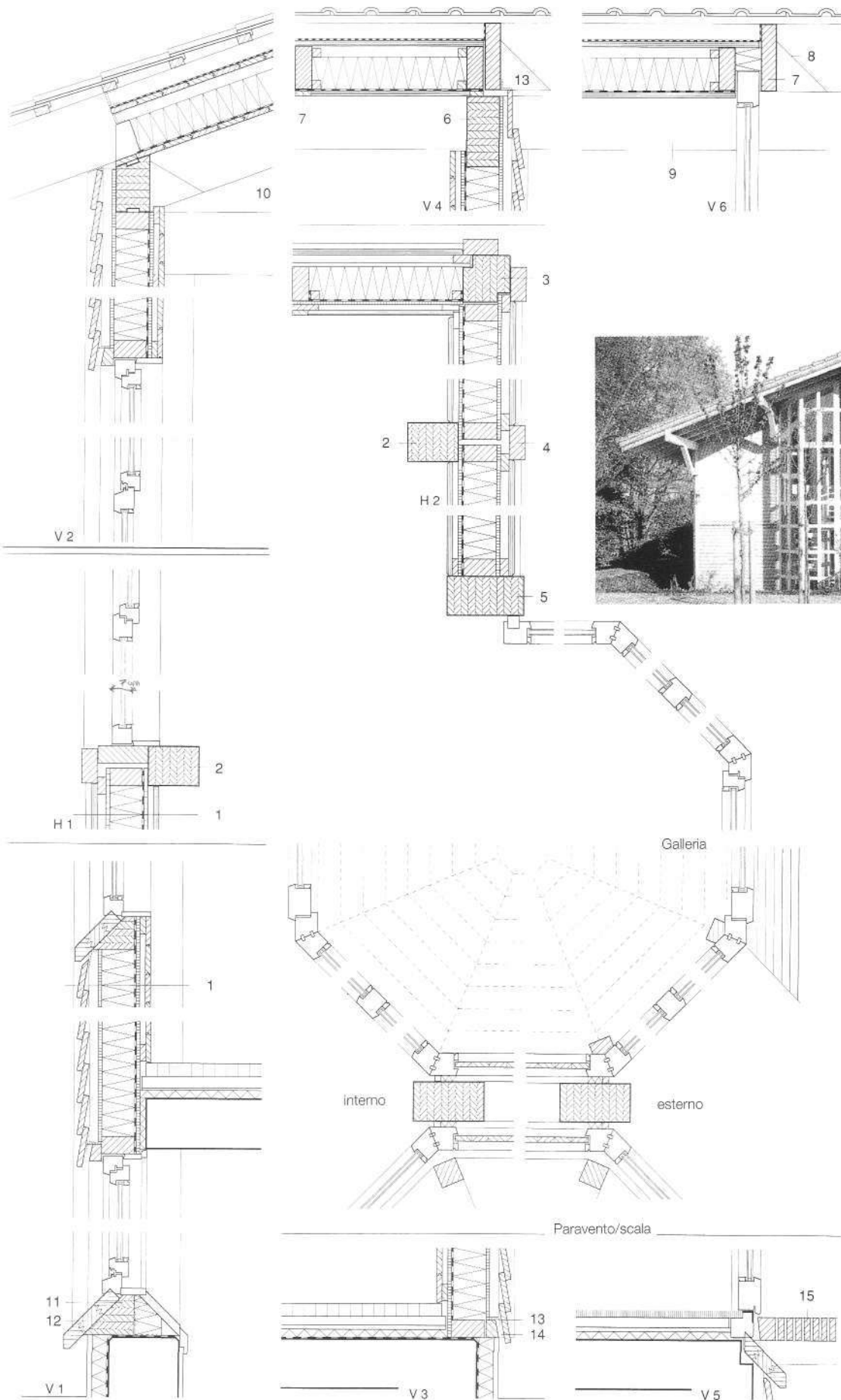
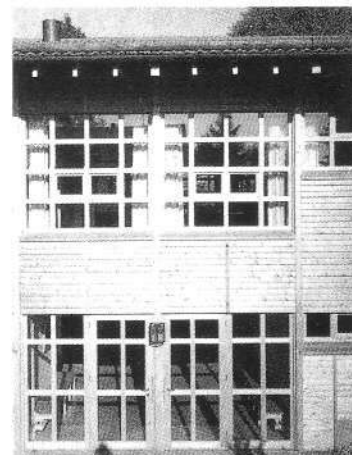
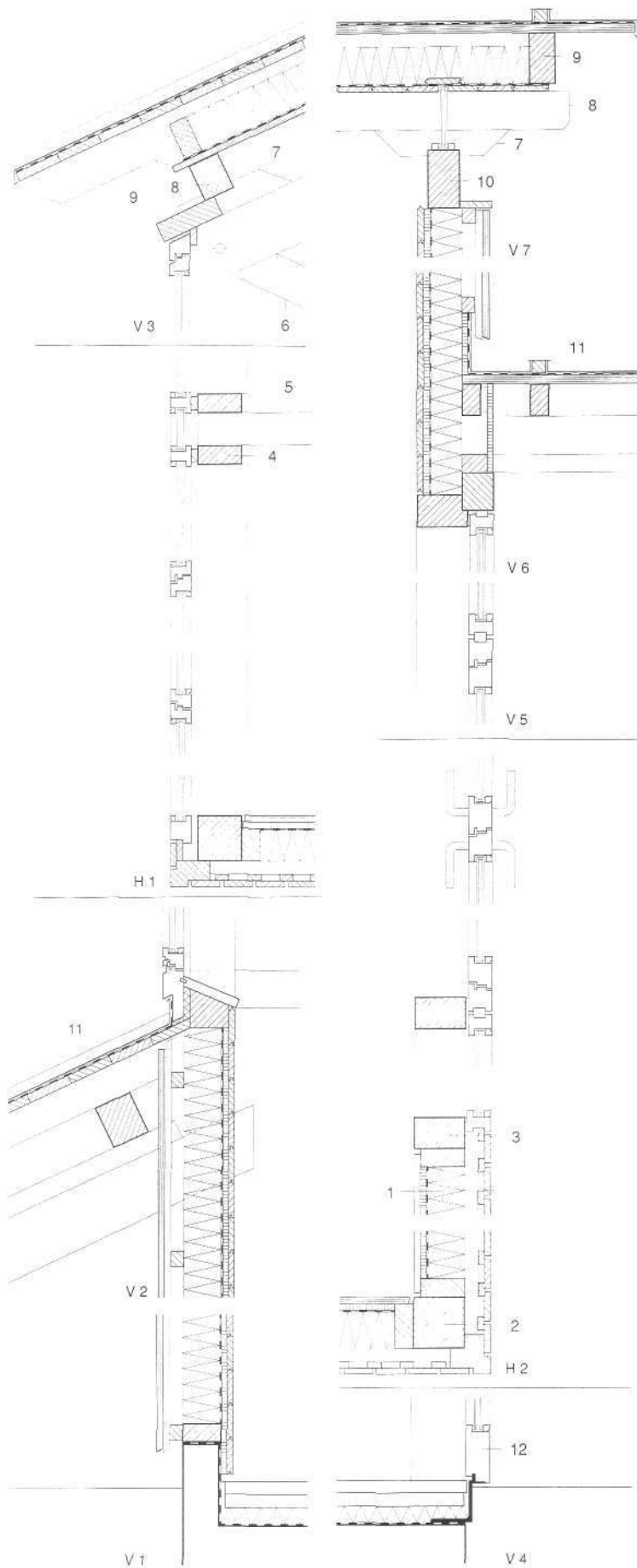
9 • Casa parrocchiale e della comunità

Furth, Germania; 1983

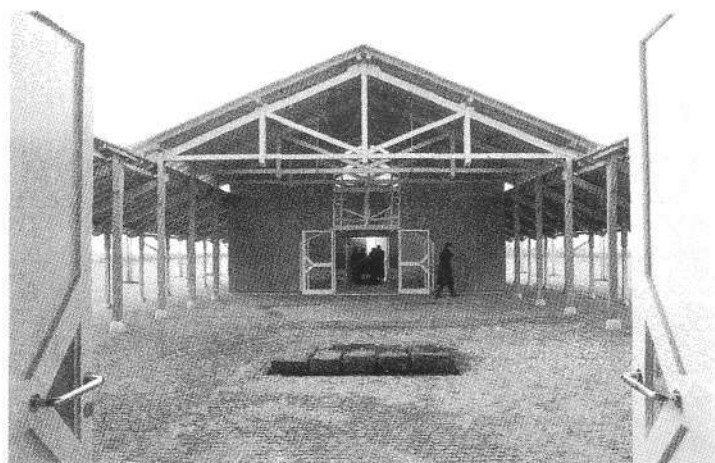
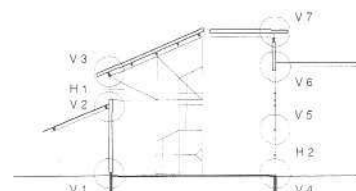
Architetti: Ufficio tecnico della chiesa evangelica luterana,
Theo Steinhauser, Monaco
Collaborazione: S. Haarth, C. Kiera

- Reticolo: 178,5 cm
- Tutti gli elementi strutturali a delimitazione dei locali sono montati come elementi prefabbricati
- Irrigidimento ottenuto con i pannelli pressati piani degli elementi prefabbricati
- Pilastri esterni avvitati successivamente a vista

1 Parete esterna: 182,5 mm
Cartongesso 12,5
Pannello di truciolato 8
Barriera al vapore
Isolamento termico 100
Pannello di particelle 16
Listellatura 22/80
Tavolato con risvolto 24
2 Montante 140/140, lamellare
3 Pilastro, traverso 50/100
4 Trave 140/300, lamellare
5 Traversina 70/140, lamellare

10 • Casa parrocchiale

Ebersberg, Germania: 1985

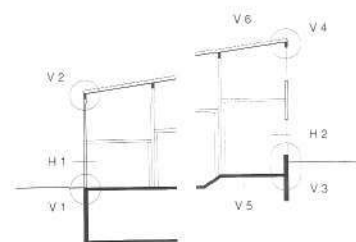
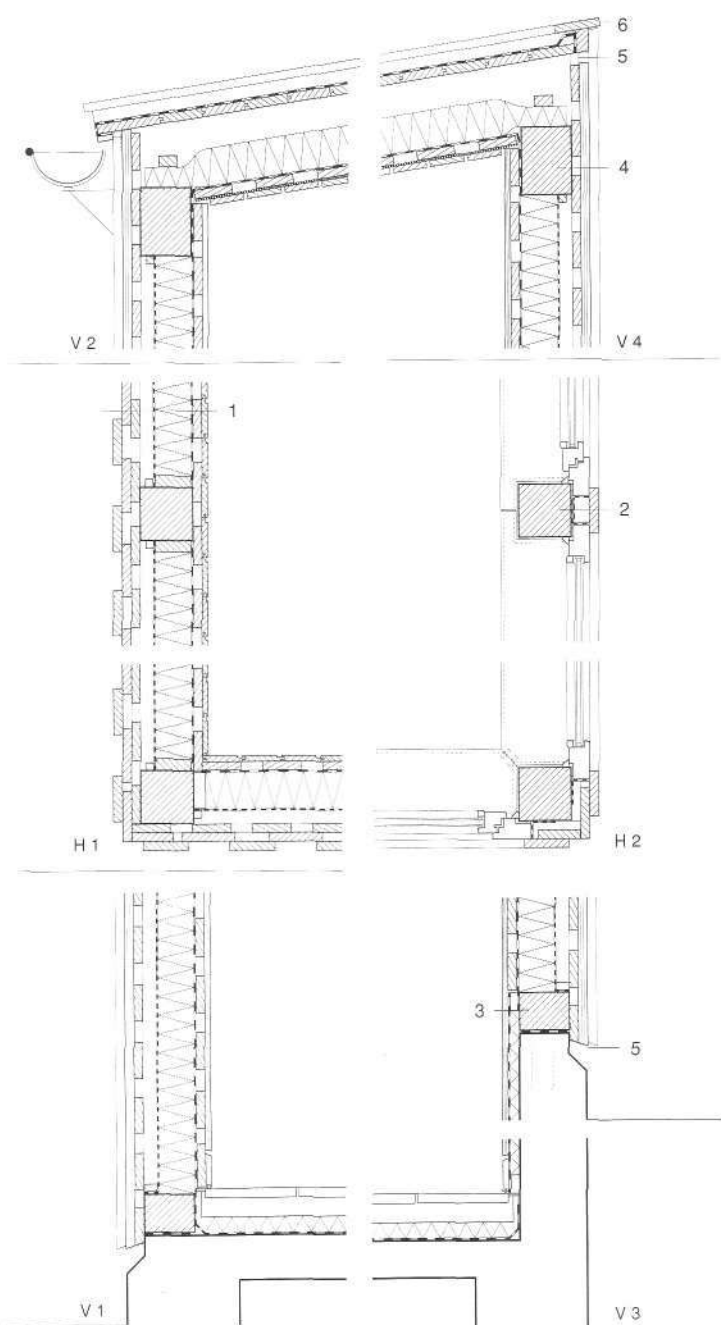
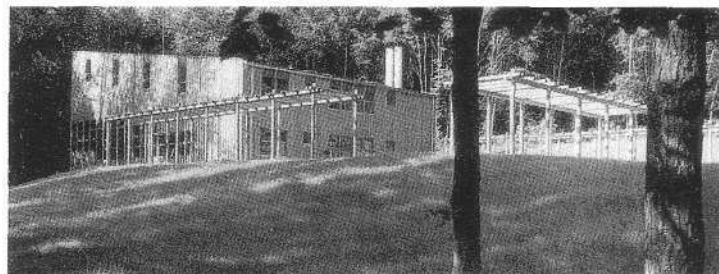
Architetti: Georg e Ingrid Kuttinger. con Tilo Röder e Andreas Heene, Monaco

- Elementi di parete e tetto b = 250 cm
- Piiastri, travetti: e = 62,5 cm

1 Parete esterna: ventilata, 254 mm
Rivestimento 18 mm, orizzontale, con scanalatura e linguetta
Intercapedine: listellatura 20/60
Pannello di truciolato V 100 G, 13
Barriera contro il vapore
Isolamento termico 120
Pannello pressato piano, V 100 G, 13
Strato d'aria, ventilato; listellato 30/60
Tavolato con risvolto 20/140
2 Montante 140/180, lamellare
3 Montante d'angolo 168/168, lamellare
4 Assicella di copertura 55/140
5 Montante 140/340 - 218, lamellare
6 Trave di estremità 120/250, lamellare
7 Travetto 60/160 e 55/242
8 Protezione da ribaltamento
9 Arcareccio 140/250, lamellare
10 Capriata del tetto 140/220, lamellare
11 Legno di rivestimento, incollato
12 Soglia di davanzale 50, quercia, incollata, anelli annuali verticali
13 Zanzariera, rame
14 Aria di alimentazione 20/100 e 200
15 Listellatura ponte

11 • Cimitero

Eching, Germania: 1985

Architetti: Sampo Widmann
e Stephan Romero, Monaco
Collaborazione: H. Huber

1 Parete esterna: ventilata, 240 mm
Rivestimento interno 21, con scanalatura e linguetta, abete rosso
Materiale a base di legno 19
Barriera al vapore
Isolamento termico 120
Listellato 40/60, orizzontale
Rivestimento dì assicelle inverso 20/40 e 20/90, legno di abete rosso
2 Montante d'angolo 160/160
3 Montante 100/160
4 Montante gemello 2 x 60/140
5 Corrente inferiore capriata
7 Distanziale
8 Arcareccio 100/120
9 Travetto 80/160
10 Trave di estremità 100/180
11 Tettoia
12 Porte

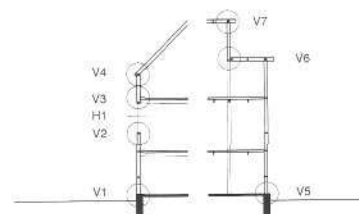
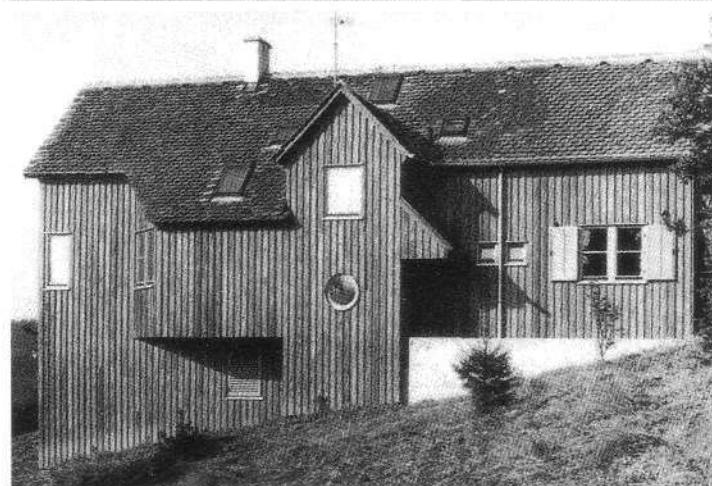
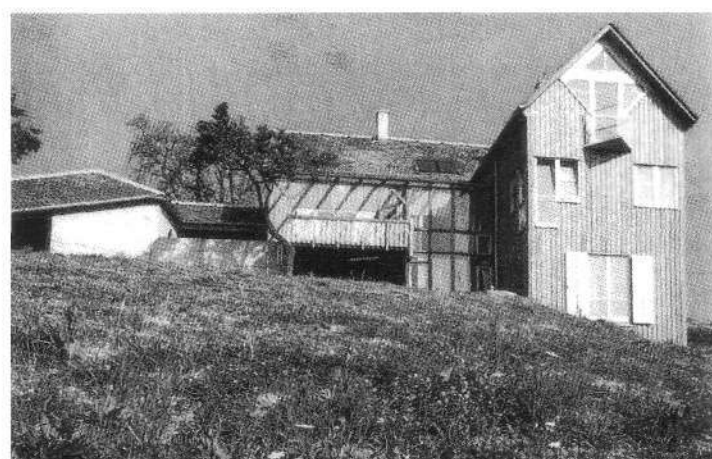
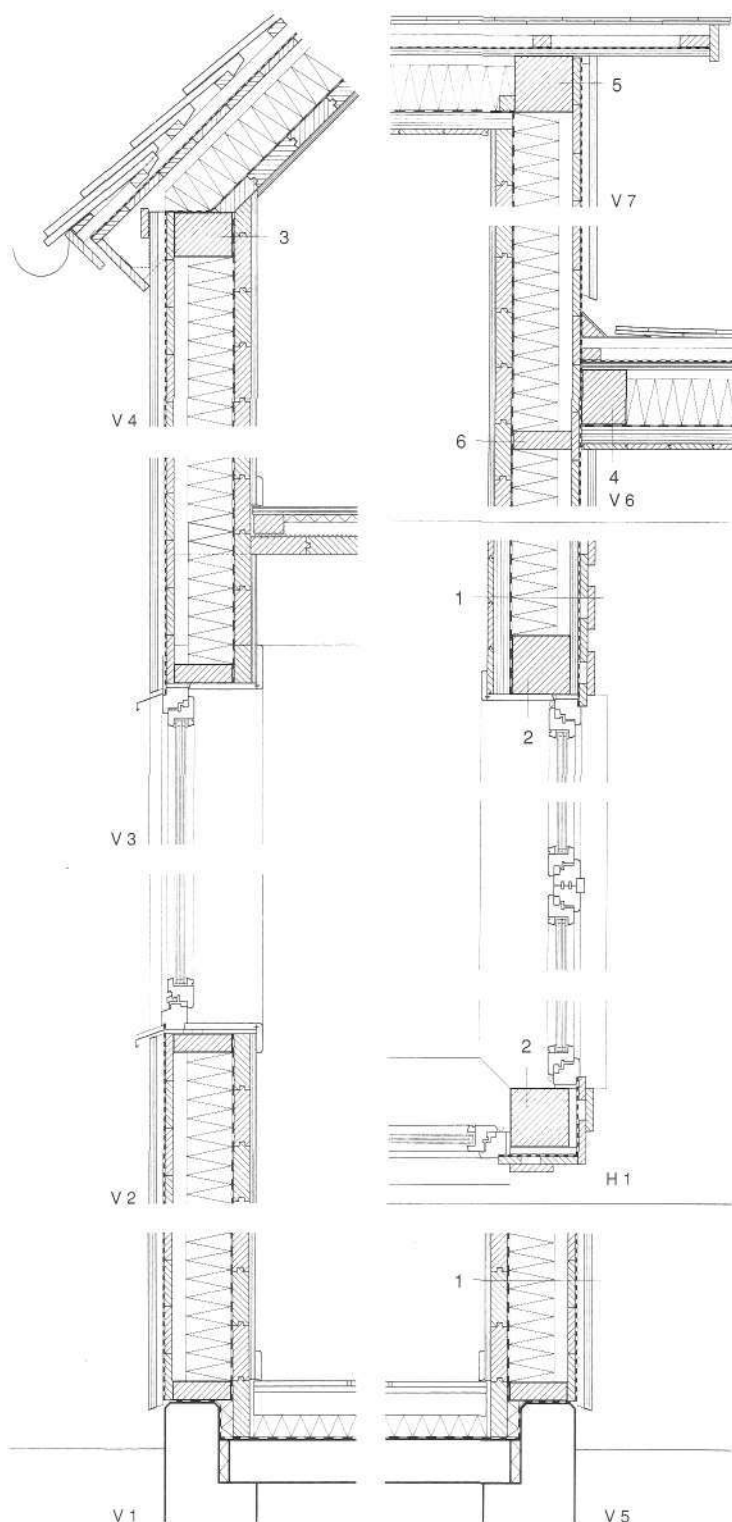
12 • Centro di incontro giovanile

Michelrieth, Germania: 1983-84

Architetto: Theodor Hugues, Monaco
Collaborazione: H. Hugues, M. Ludwig

- Reticolo: 90 cm
- Irrigidimento con rivestimento diagonale
- Larghezza di reticolo del rivestimento: 22,5 cm
- Struttura portante e facciata in legno di abete rosso

1 Parete esterna: ventilata. 252 mm
Rivestimento 16, verticale, con scanalatura e linguetta, non trattato
Rivestimento di recupero 24, diagonale
Barriera al vapore
Isolamento termico 100
Carta per protezione dal vento, che consente la diffusione, idrorepellente
Intercapedine 40
Rivestimento di recupero 24, diagonale
Rivestimento di assicelle 24/140.
24/120 verde, impregnato a pressione
2 Montante 140/140
3 Soglia 100/140
4 Arcarecci 140/180
5 Protezione dagli insetti, lamiera forata
6 Assicella di copertura 24/120

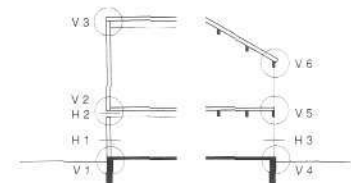
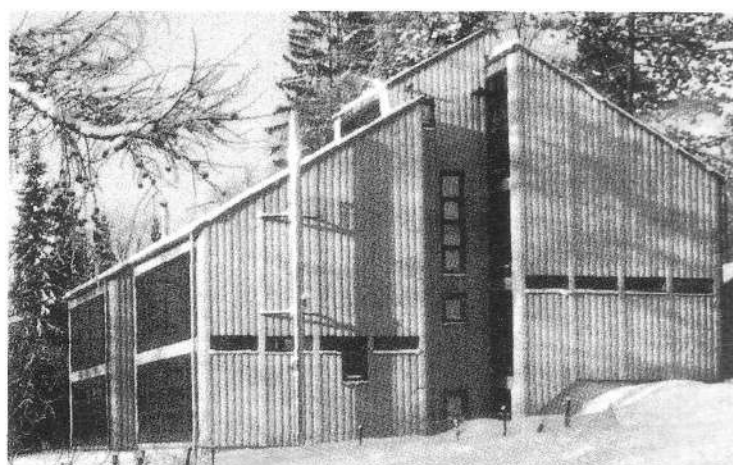
13 • Casa di abitazione

Graz-Hart/St. Peter, Austria; 1983

Architetti: Team A Graz
Franz Cziharz, Dietrich Ecker,
Herbert Missoni, Jörg Walmüller
Collaborazione: H. Müller

- Reticolo: 85 cm
- Reticolo del rivestimento: 15 cm

1 Parete esterna: ventilata, 281 mm
Rivestimento a vista 16, verticale, con scanalatura e linguetta
Tavolato 45, orizzontale, con scanalatura e linguetta
Cartone bitumoso
Isolamento termico 120
Strato d'aria, verticale 40
Rivestimento 20, orizzontale, segato ma non piallato
Isolamento dal vento, cartone bitumoso, che consente la diffusione
Rivestimento di assicelle 20/115, verticale
2 Montanti 16/16
3 Arcareccio inferiore 12/16
4 Travetto 12/15
5 Travetto 16/16
6 Rompitratta 5/16

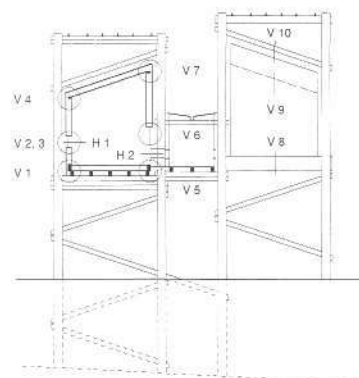
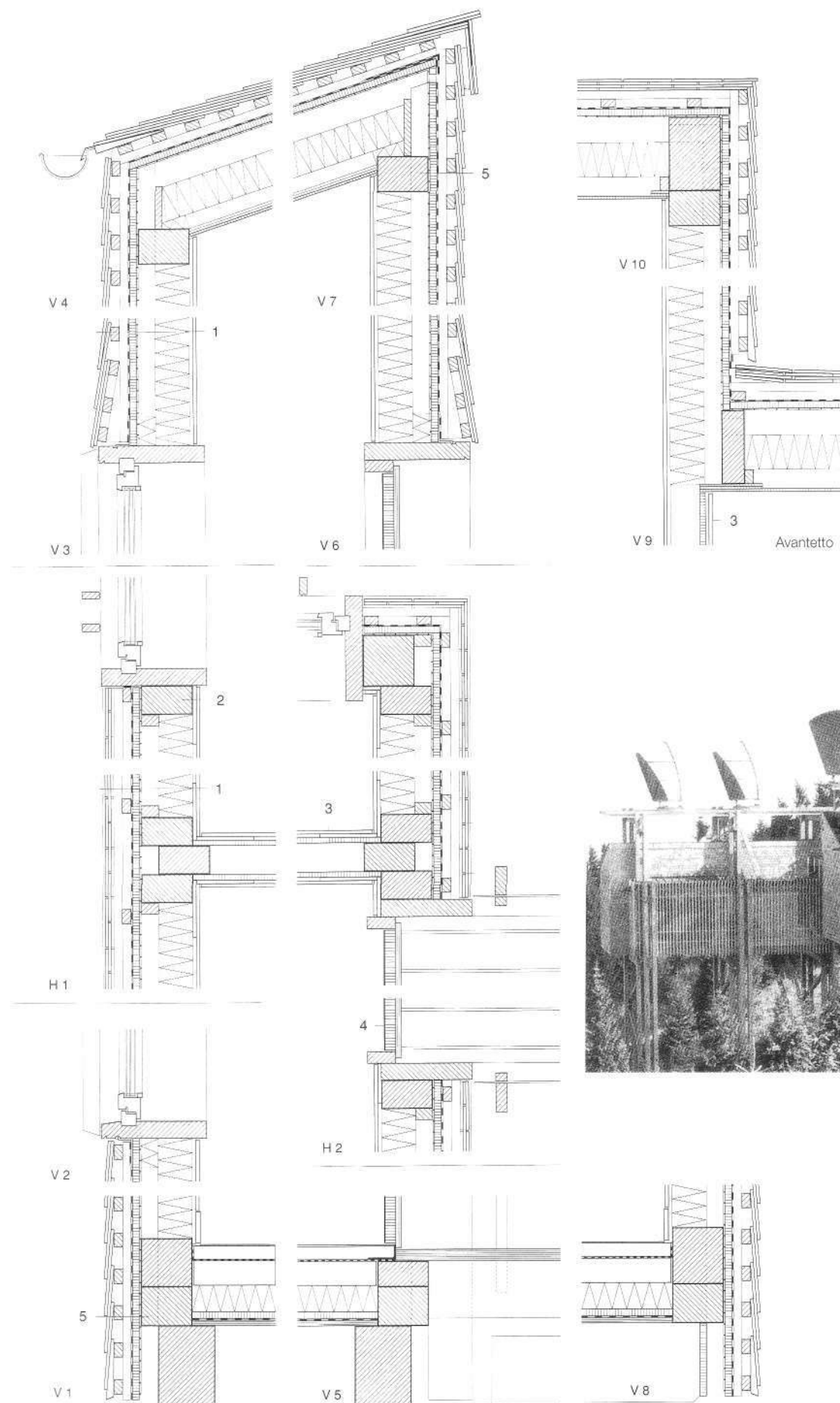
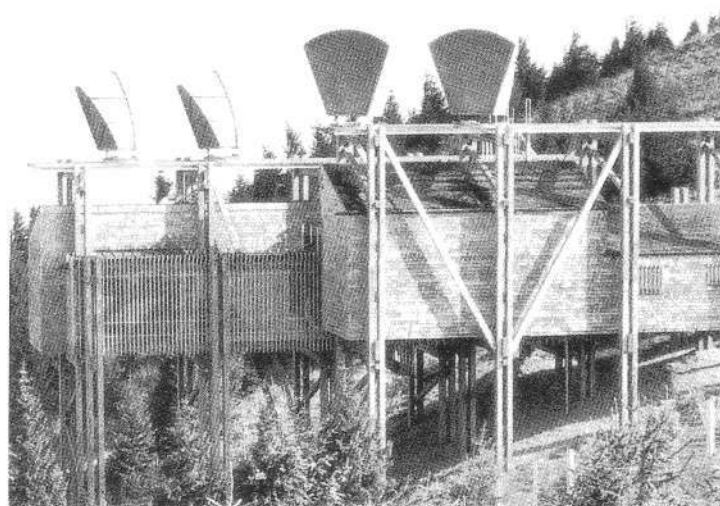
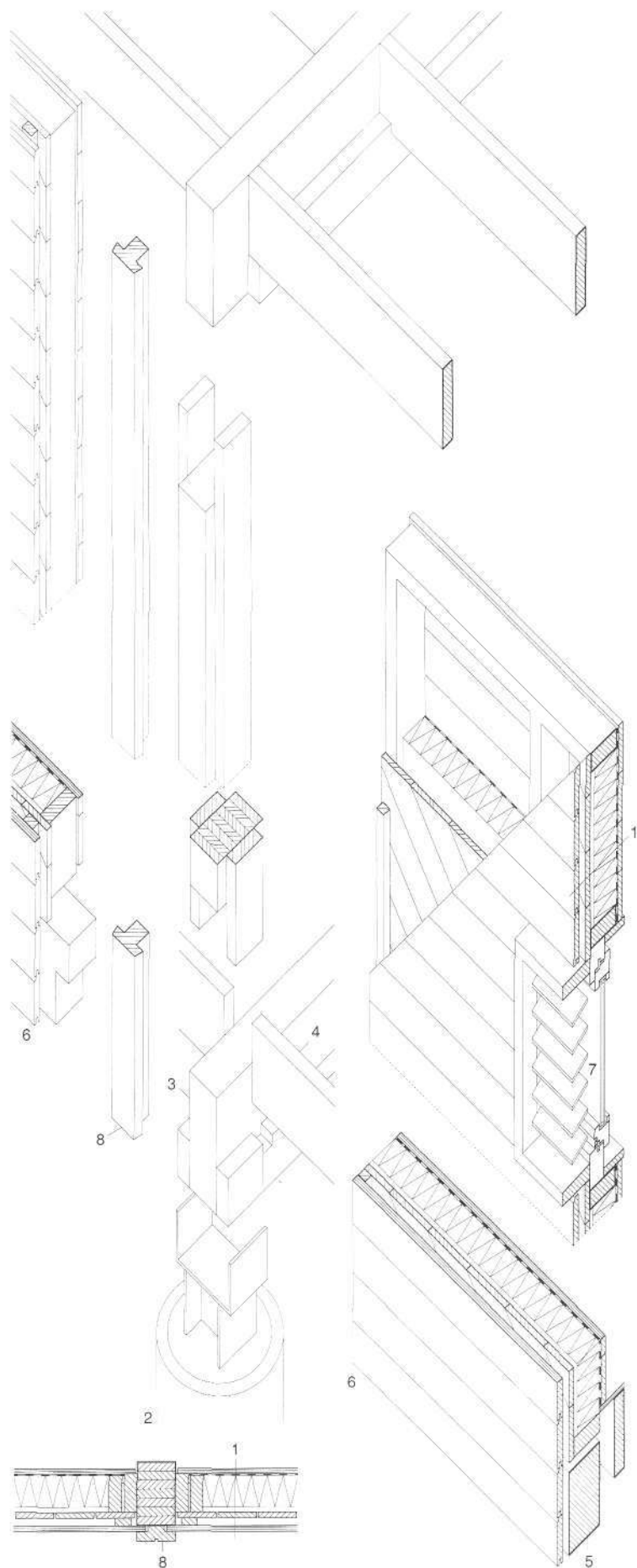
14 • Casa bifamiliare

Ebenhausen, Germania; 1983-84

Architetti: Elmar e Sigrid Dittmann. Monaco

- Retìcolo: 150 cm
- Nucleo in muratura
- Rivestimento esterno non trattato
- Costi di costruzione ridotti
- Elevata percentuale di fai-da-te

1 Parete esterna: ventilata, 232 mm
Pannelli di cellulosa gessati 12.5
Barriera al vapore
intercapedine 12,5
Isolamento termico 12C
sfalsato a doppio strato
Pannello di particelle legato
con cemento 15
Ventilazione, listellatura 30/50
Rivestimento de! pavimento 21/140
Rivestimento del soffitto 21/100
2 Montante 160/160, lamellare
3 Pilastro 40/145
4 Rompitratta 60/145
5 Soglia 80/160
6 Trave di estremità 160/360, lamellare
7 Rivestimento travi
8 Tavolone 50, con doppia smussatura
9 Controvento

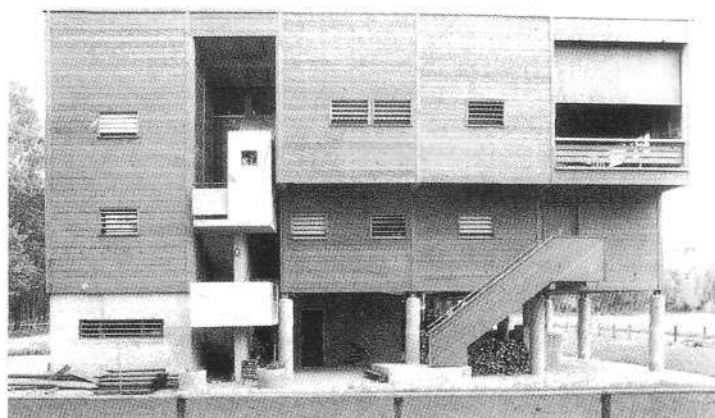
15 • Centro di radiotrasmissione

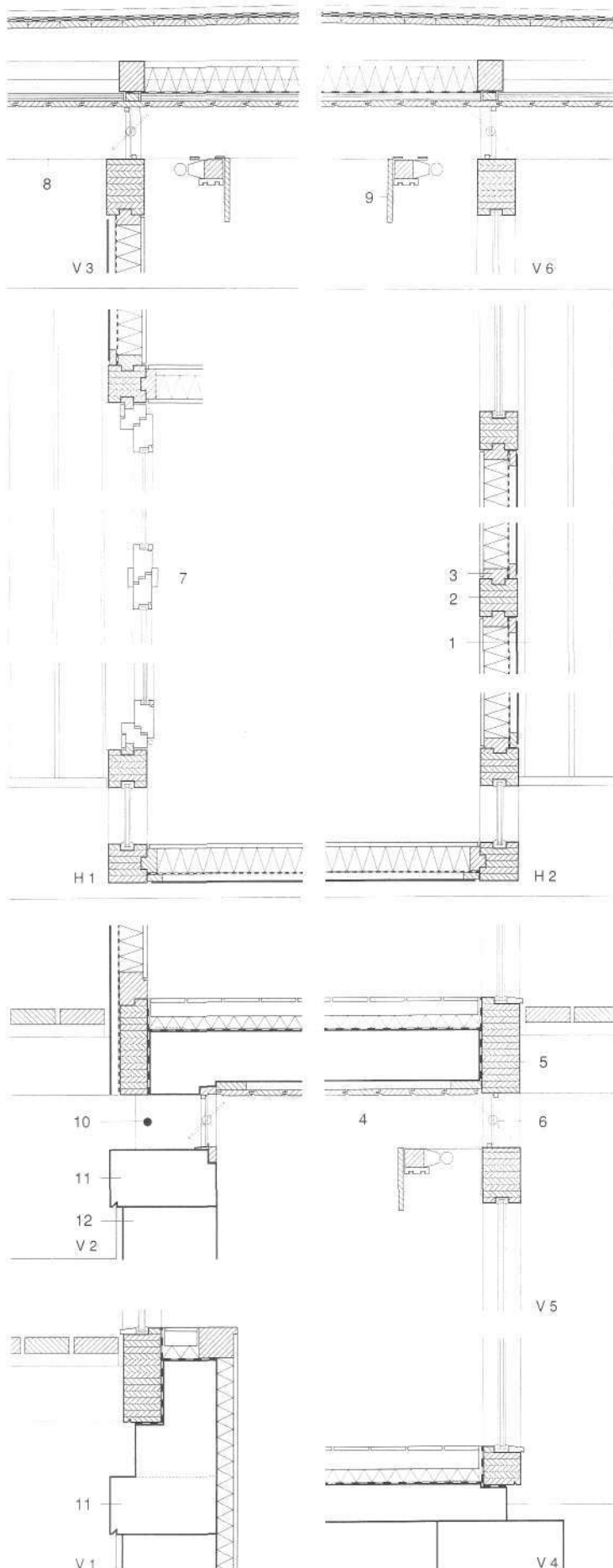
Brauneck, Germania; 1984

Architetti: Karin Maurer e OPD,
Gerald Schloffer, Monaco

- Reticolo: 500 x 555 cm
- Montanti gemelli 2 x 15/20 cm
- Travi di sostegno 20 x 72 cm (3 x 24/20 cm)
- Separazione di struttura portante e finiture
- Distanza pilastri: 62,5 cm
- Struttura portante in bongossi, finiture in abete rosso, scandole in alerce

1 Parete esterna: ventilata, 311 mm
Pannelli di fibre gessati 12
Intercapedine, strisce di Promatekt 12/200
Isolamento termico 120
Ventilazione 60
Griglia di acciaio 3
Pannello pressato piano V 100 G, 24
Strisce di impermeabilizzazione permeabili al vapore, due strati
Controlistellatura 30/50
Listellatura 30/50
Scandole, lunghe circa 305, distanziate, non trattate
2 Pilastro 100/180
3 Parete divisoria
4 Porta d'ingresso
5 Fessure di ventilazione in elementi lignei orizzontali trasversali

16 • Club e ippodromo

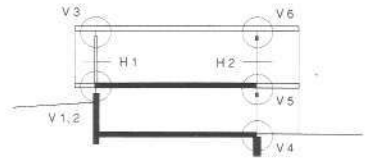
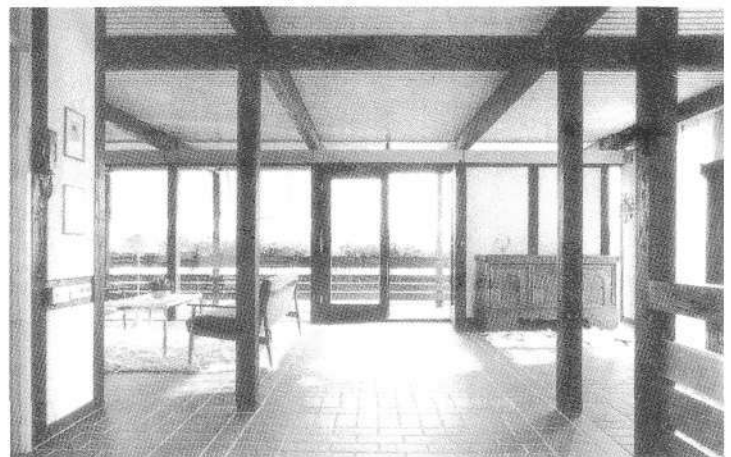
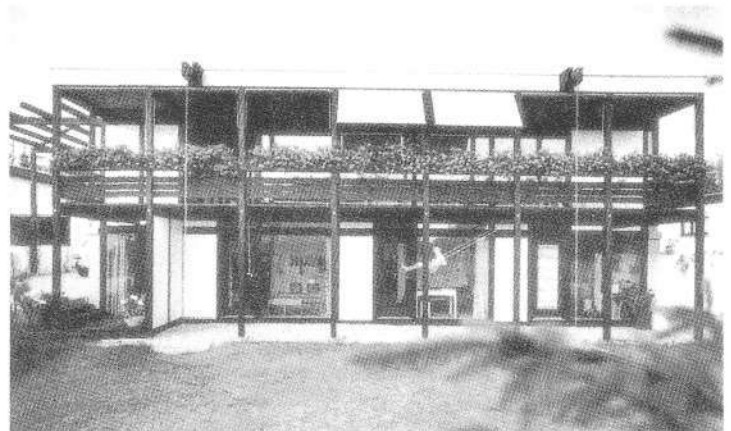
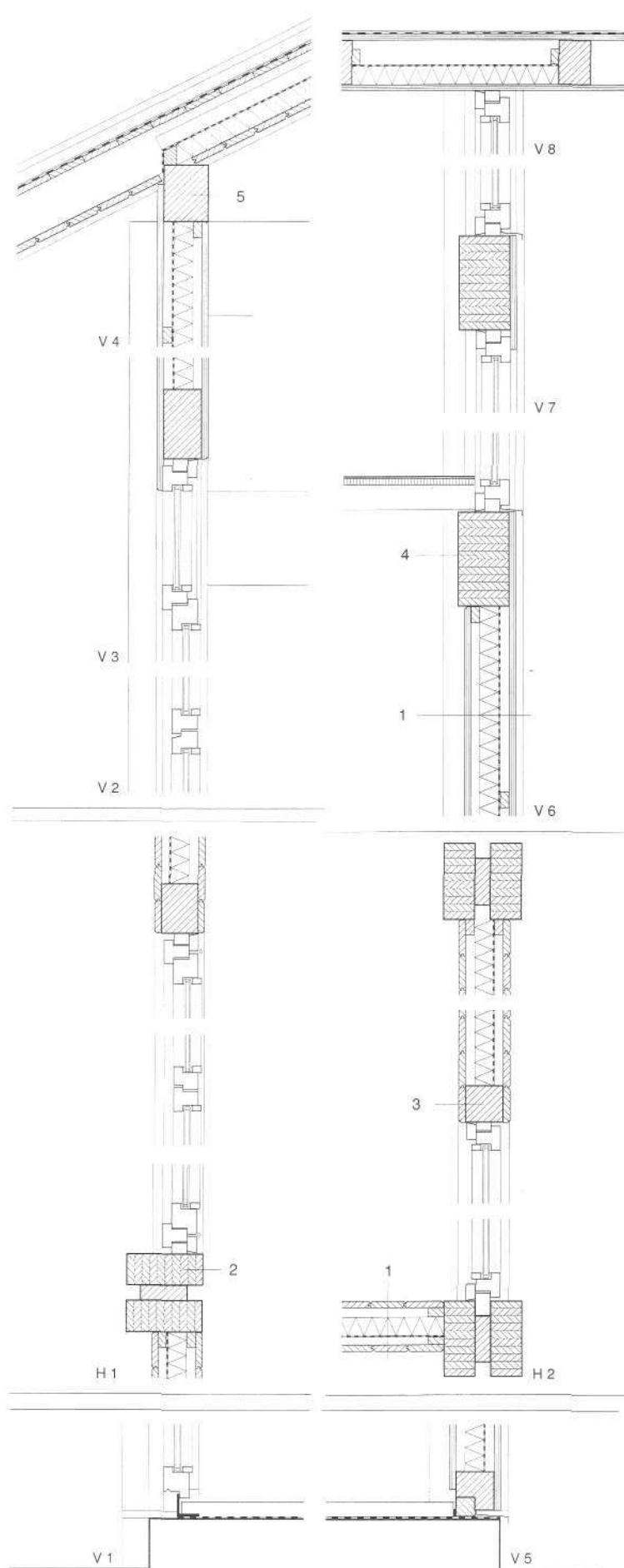
Ecublens, Svizzera; 198^

Architetti: Atelier Cube, Losanna.
Guy e Marc Coilomb, Patrick Vogel

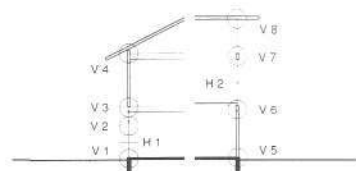
- Costruzione portante e finiture in abete rosso, scale esterne e pavimenti della galleria aperta in larice
- Elementi strutturali di facciata, alti fino al secondo piano, prefabbricati con rivestimento esterno, rivestimento diagonale, pilastri e rompitratta
- Isolamento, barriera al vapore e rivestimento interno montato sulla costruzione
- Irrigidimento dell'edificio per mezzo di rivestimento diagonale

1 Parete esterna: 186 mm
Assito interno, orizzontale 22, segato e non piallato, non trattato
Barriera al vapore
Isolamento termico 80
Rivestimento diagonale 22
Rivestimento esterno 22 con scanalatura e linguetta
Cavità, ventilata; listellatura verticale 40. piallata, impregnata a pressione

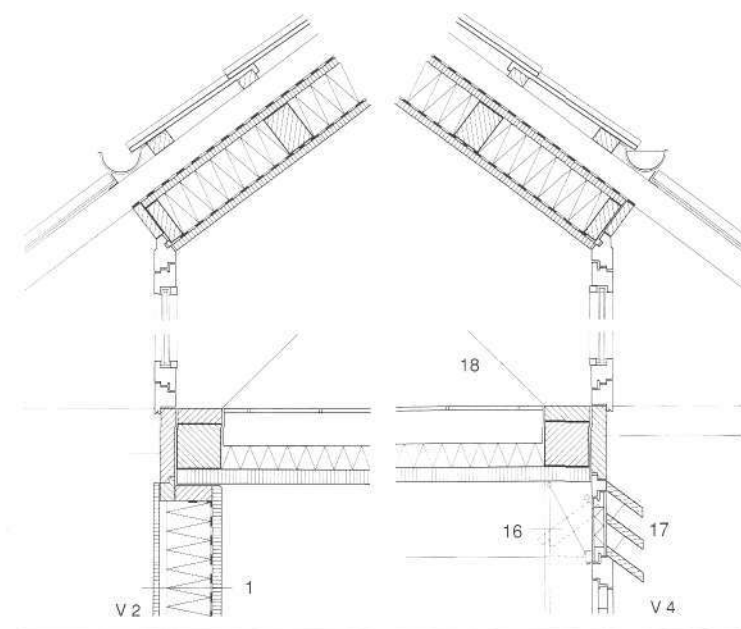
2 Pilone di calcestruzzo
3 Trave principale in lamellare
4 Trave secondaria
5 Trave di facciata 120/240
6 Elementi strutturali di facciata prefabbricati, rivestimento interne montato sulla costruzione
7 Alette mobili in vetro opaco
8 Listello di copertura

17 • Casa unifamiliare con foresteria

Bad Homburg, Germania; 1978

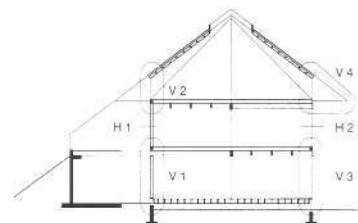
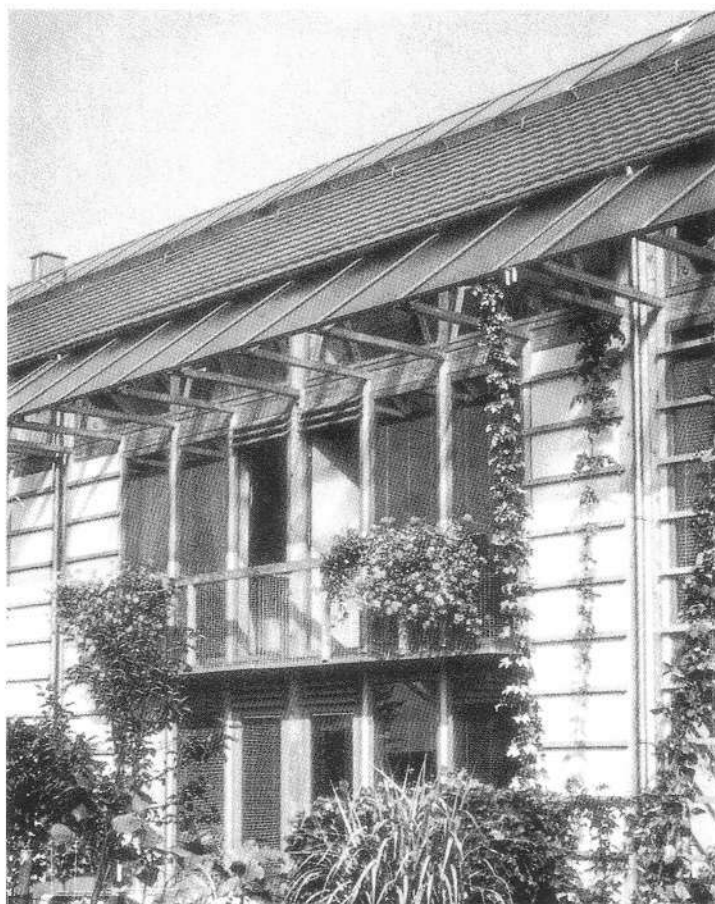
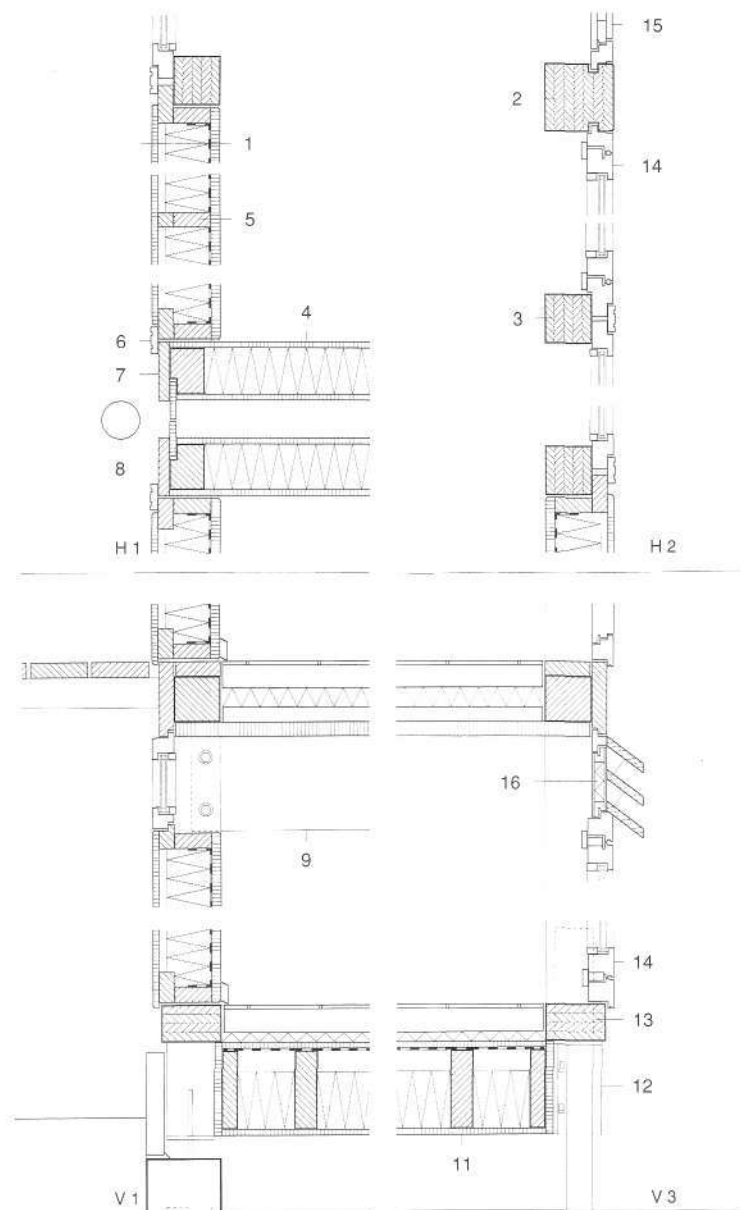
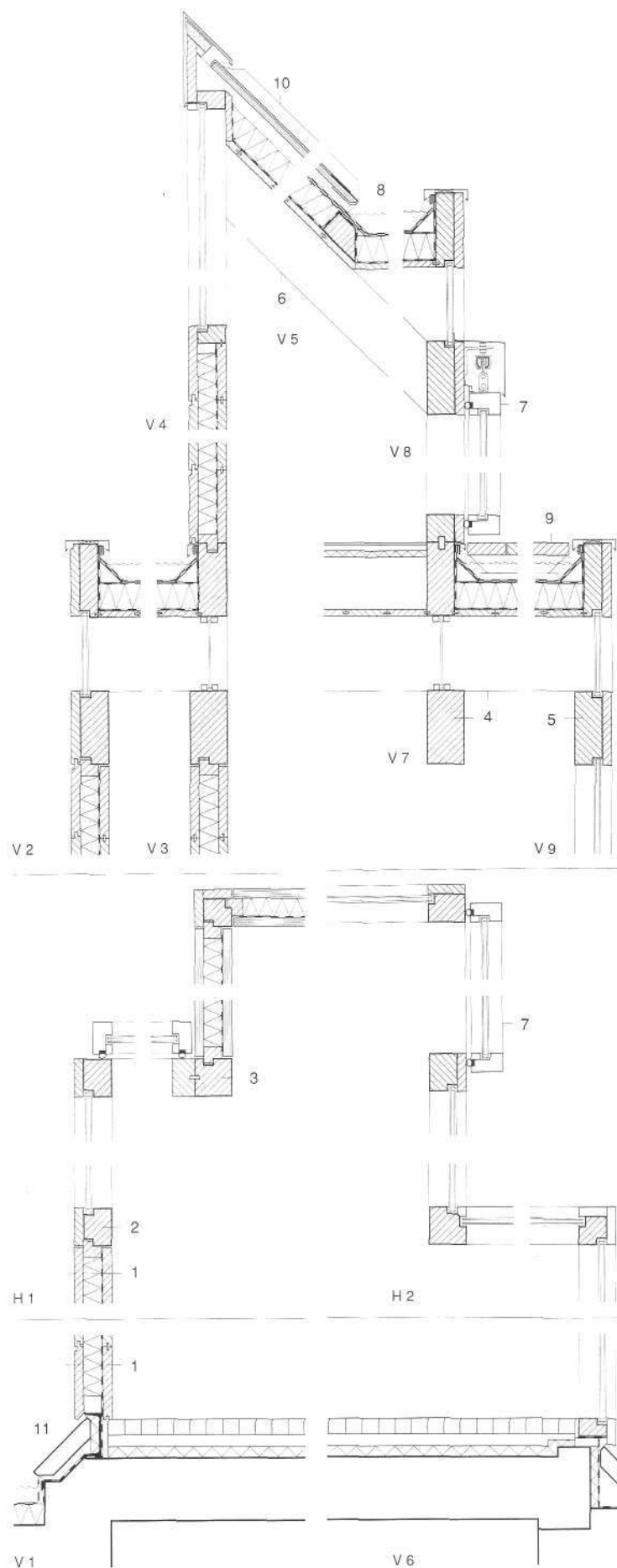
Architetto: Till Behrens, Francoforte

- Reticolo: 202 cm
- Campate con isolamento: 101 cm
- Croce di irrigidimento in barra di acciaio nel mezzo tra gli strati di isolamento
- Vetrata senza telai in scanalature della costruzione di legno portante con funzione di irrigidimento e con cornice di vetro nella parete inferiore

1 Parete esterna: ventilata, 120 mm
Cartongesso 12,5
Isolamento termico 2 x 40
Cartone idrorepellente
Isolamento dal retro, listellatura 21,5
Glasal 6 mm
2 Montante 120/120, lamellare, scanalato
3 Elemento ligneo di collegamento 50/80
4 Soletta in cemento armato
5 Trave di estremità 120/300, lamellare
6 Finestra a lamelle
7 Porta sollevabile
8 Trave 120/250, lamellare
9 Cornice per luci e tende
10 Tondino di acciaio
11 Ancoraggio ad anello
12 Muratura

18 • Laboratorio

Zorneding, Germania; 1974

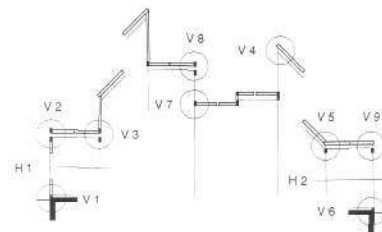
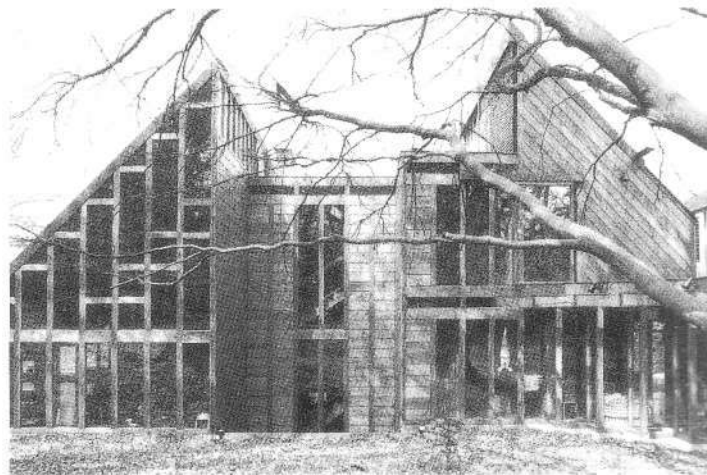
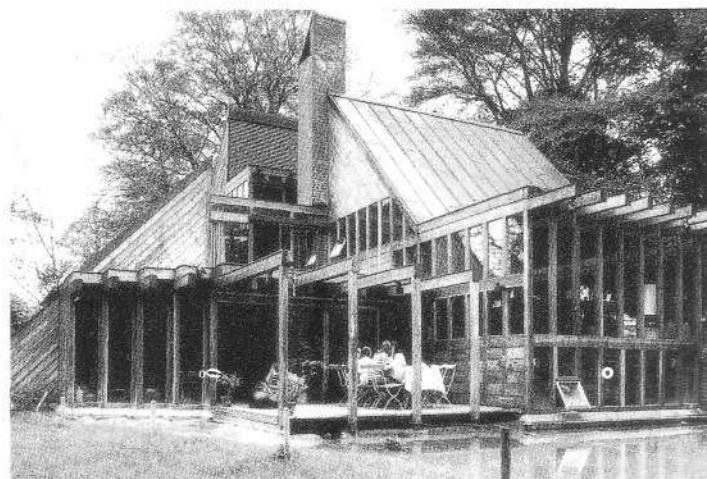
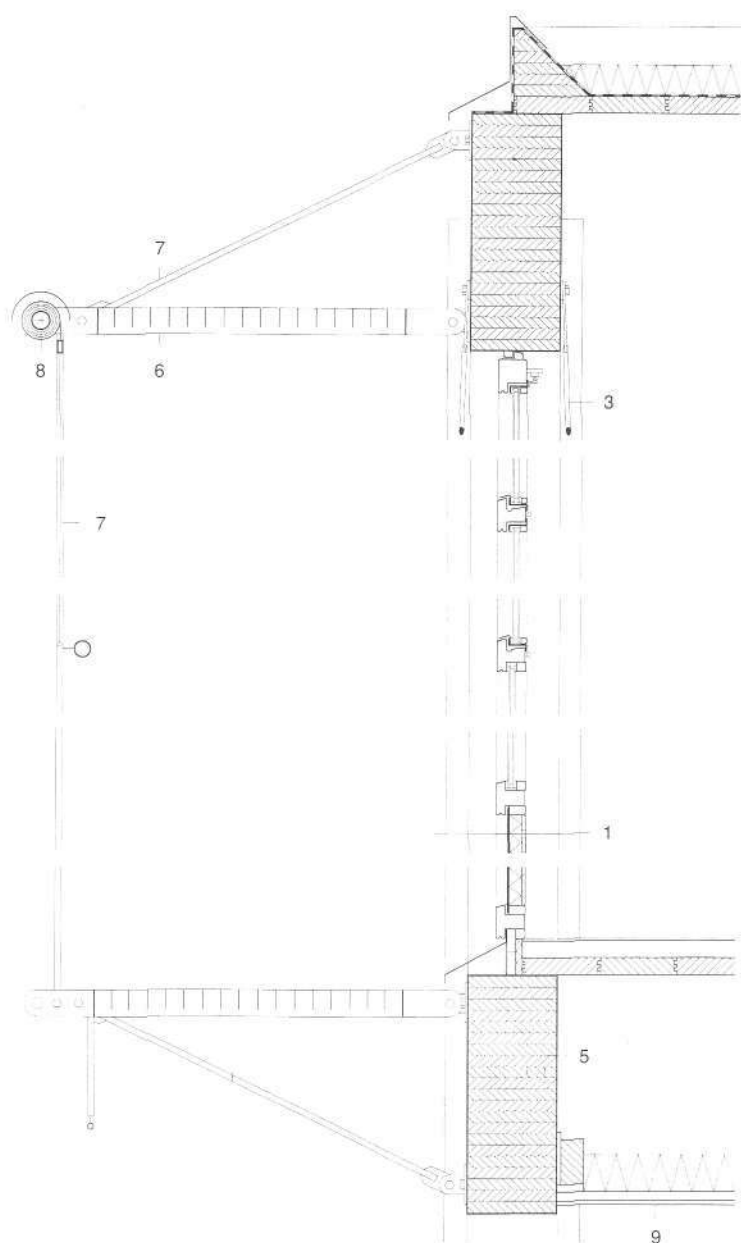
Architetti: Planungsgruppe M 5. Monaco
Elaborazione: Franz Xaver Lutz

- Reticolo: 500 e 750 cm
- Costruzione portante principale con montanti a I

1 Parete esterna: ventilata, 160 nim
Rivestimento interno, verticale, con scanalatura e linguetta, 20
Intercapedine: listeliatura 30/50, orizzontale
Isolamento termico 60
Foglio permeabile al vapore
Intercapedine: listeliatura 30/50, orizzontale oppure pannello pressato piano (per irrigidimento)
Rivestimento esterno, verticale, con scanalatura e linguetta, 2C
2 Montante 2 x 100/250, 50/150, lamellare
3 Montante intermedio 120/120
4 Trave 160/300, lamellare
5 Arcareccio inferiore 140/180

19 • Edificio con cinque appartamenti

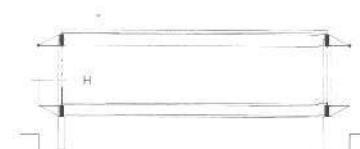
Eching, Germania; 1988

Architetto: Reinhold Tobey, Monaco
Collaborazione: M. Streib, W. Dilcher-Tobey

- Reticolo: 105 cm
- Costruzione di ossatura in legno con direzione alternata degli strati di travi
- Pareti divisorie della casa, elementi di pavimento e tetto completamente prefabbricati
- Pareti interne, porte scorrevoli progettate in officina per montaggio fai-da-te

1 Parete esterna: 180 mm
Pannello di multistrato da costruzione 25
Barriera al vapore
Isolamento termico 120
Intercapedine 19
Pannello di legno e cemento 16
2 Montante principale 180/180, lamellare
3 Montante 125/130, lamellare
4 Elementi di parete divisoria, portanti
5 Pilone centrale dell'elemento
6 Listello di copertura 25/70
7 Asse di copertura 30/152
8 Pluviale
9 Trave principale 180/300, lamellare
10 Tettoia con vetro retinato 80/80, legno di conifere
11 Elementi di tavole di legno
12 Tubo di acciaio, elemento triangolare, piattabanda
13 Traversina 100/160, lamellare
14 Finestra girevole
15 Battente della porta
16 Deflettore di ventilazione
17 Alette di legno
18 Capriata del tette

20 • Casa di abitazione

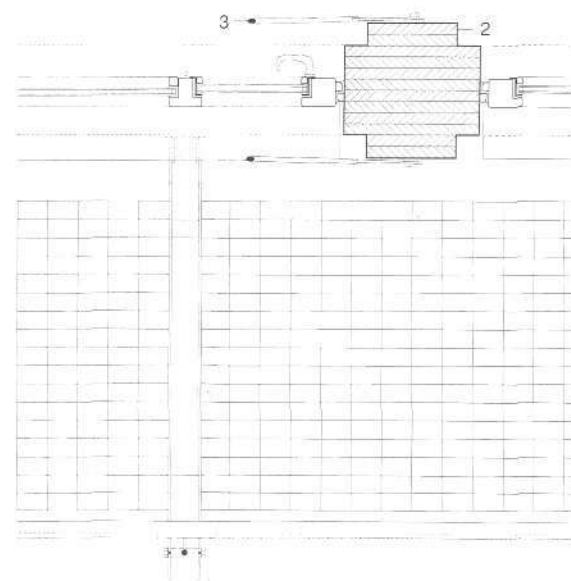
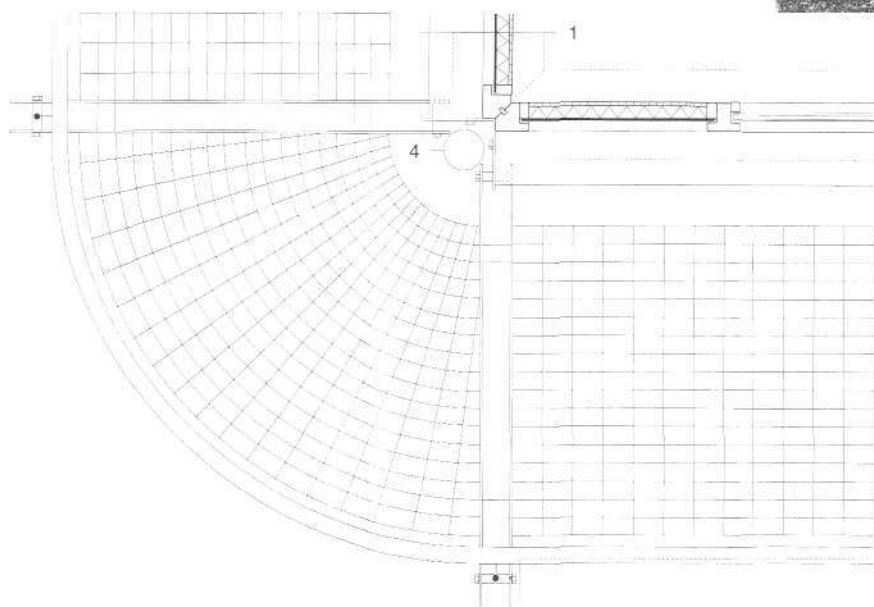
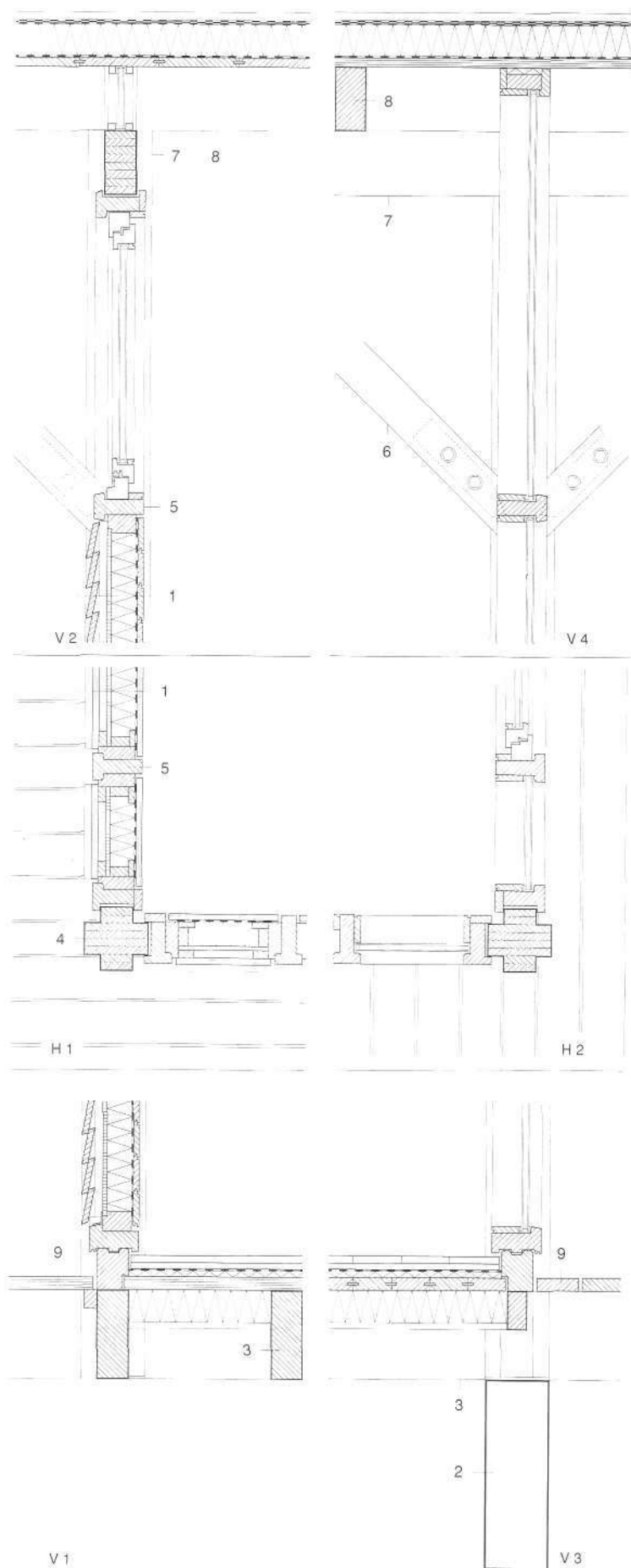
Aquisgrana, Germania: 1976-80

Architetti: Erich Schneider-Wessling
con lise Walter, Helmut Brinkhaus. Colon a

- Reticoio di pianta: 125/125 cm
- Modulo di altezza: 70 cm (70 : 3 = 23,3)
- Distanza montanti e travi: 625 cm
- Connessioni di costruzione assiali
- Tutti gli elementi lignei a vista in legno di larice

1 Parete esterna: 120 mm
Rivestimento, interno 30/233, diagonale
Barriera al vapore, foglio di polietilene
Isolamento termico 60, fibre minerali
Rivestimento, esterno 30/233, diagonale
2 Montante 90/120
3 Montante d'angolo 120/120
4 Trave di sostegno e trave 120 233
5 Trave di estremità 90/233
6 Travetto 120/165
7 Porta scorrevole
8 Tetto coibentato con ristagne dell'acqua
9 Graticcio di legno 40/120
10 Tetto coibentato ventilato
11 Clinker in letto di malta, 52/52/240

21 • Edificio per uffici

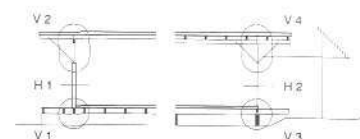
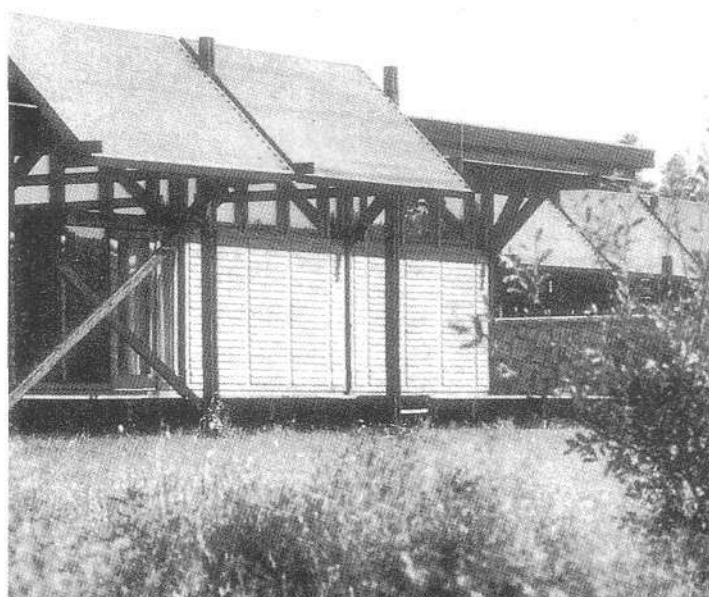
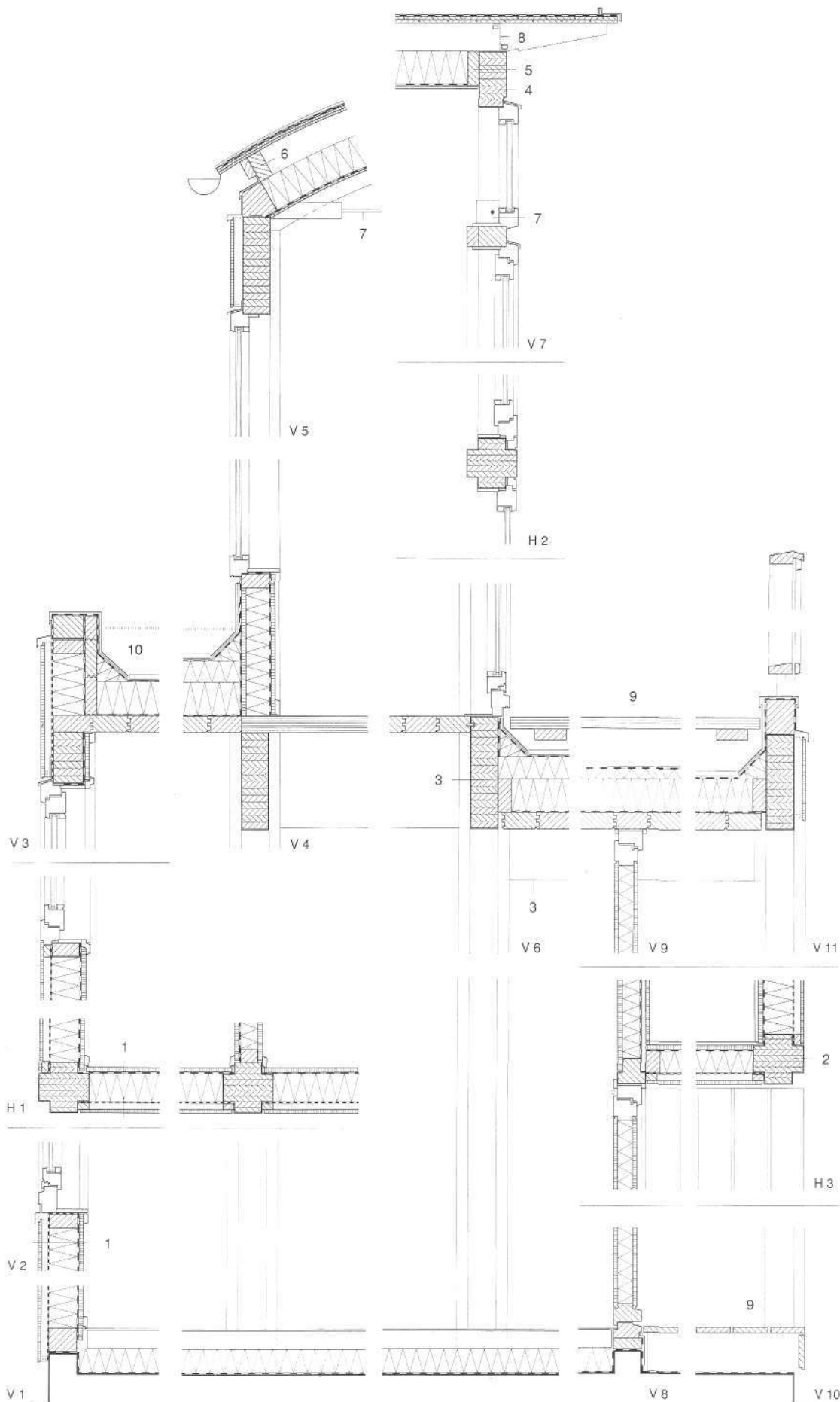
Monaco, Germania: 1978

Architetti: Ekkehard Fahr con Anne Fahr-Deistler
Progettazione Fahr & Partner (PFP), Monaco

Facciata a finestre di legno sistema PFP

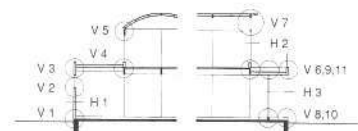
- Telai a blocchi di abete rosso con ante a bilico e porte inserite a livello in profili aZ di alluminio
- Primo edificio di legno F 90 B della Repubblica Federale di Germania

1 Davanzale: pannello, d = 50 mm
Pannello pressato piano, rivestito di bianco
Isolamento in espanso rigido
Pannello in fibrocemento, laccato di bianco
2 Montante a croce 360/360, lamellare
Controvento, d = 27 mm
4 Pluviale
5 Trave di estremità 240/630, lamellare
6 Griglia, acciaio zincato
7 Sospensione e tirante, d = 16
8 Parasole
9 Solaio F 90 B

22 • Scuola

Dischingen, Germania; 1979-80

Architetti: Klaus Mahler e Jurgen Schàfer, Stoccarda

- Reticolo: 864 x 864 cm
- Distanza pilastri: 108 cm
- Controventature ottenute tramite pannello pressato piano e contraffissi
- Sporgenza del tetto 189 cm
- Parasole anteriore in lamelle di legno fisse

1 Parete esterna: ventilata, 171 mrr
  Rivestimento di legno 18,
  con scanalatura e linguetta
  Barriera al vapore
  Isolamento termico 2 x 40
  Pannello di truciolato 13
  Strato d'aria 24
  Rivestimento embricato su cornice dentata 18
2 Zoccolo in cemento armato 200/600
3 Strato di travi 100/280
4 Montante a croce 200/200, lamellare
5 Pilastro e rompitratta 80/160
6 Contraffisso 2 x 50/130
7 Trave principale 100/200, lamellare
8 Strato di travetti 100/200
9 Passaggio, tavolone 40/13C

23 • "Grüne Häuser"

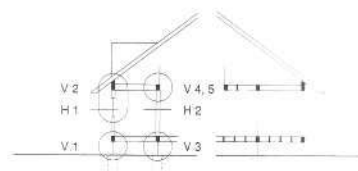
Berlino, Germania; 1985

Architetto: Otto Steidle con Hans Kohl, Monaco

- Reticolo: 197,5 e 260 cm
- Modulo di altezza: 30 cm
- Costruzione ossatura di legno F 30

1 Parete esterna: ventilata, 155 mm
  Pannello pressato piano V 20, 16
  Foglio di polietilene 0,2
  Isolamento termico 100
  Pilastro 50/100: e = 62,5 cm
  Cartone bitumoso, due strati
  Strato d'aria, ventilato 27
  Pannello di truciolato legate con cemento 12/330, larghezza copertura 300 mm
2 Montante a croce 180/180, lamellare
3 Trave 100/180, 200, 340, 400, lamellare
4 Capriate ad arco 100/200, lamellare
5 Capriata intermedia 60/120, lamellare
6 Arcarecci 60/100
7 Tirante d = 10
8 Protezione dagli insetti, lamiera forata
9 Graticcio di legno (ingresso, terrazza)
10 Tetto verniciato di verde

24 • Casa di abitazione, foresteria. capanno

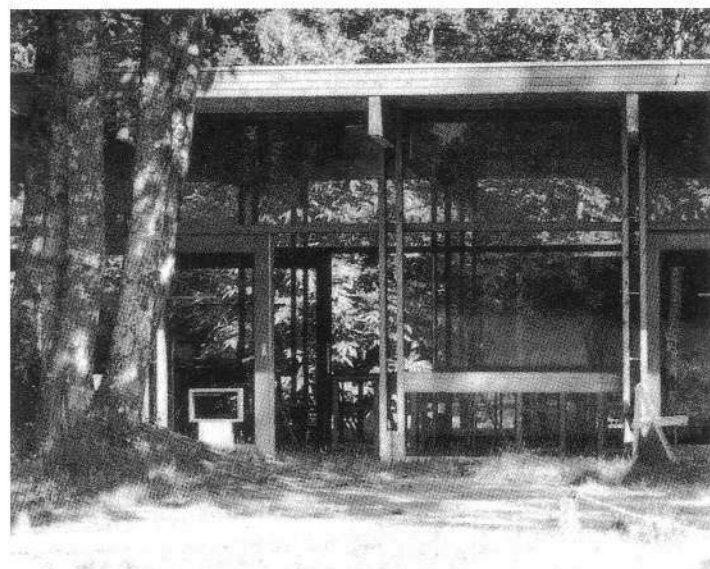
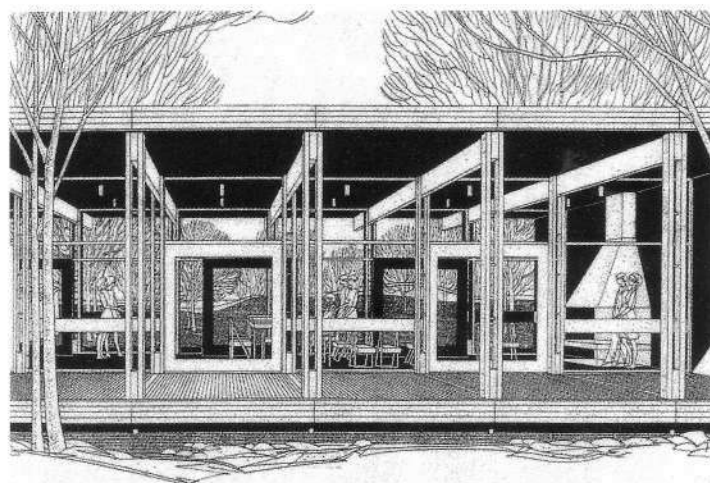
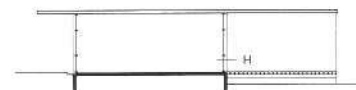
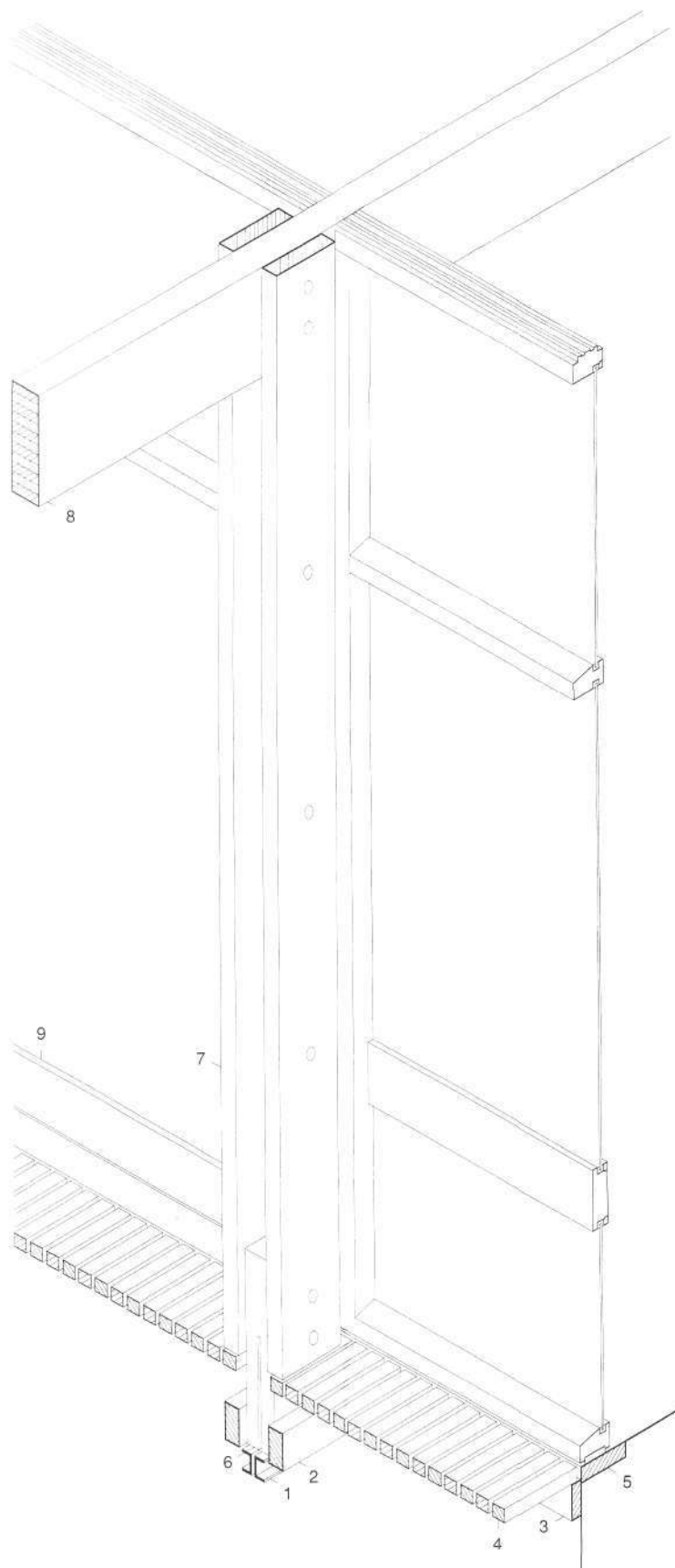
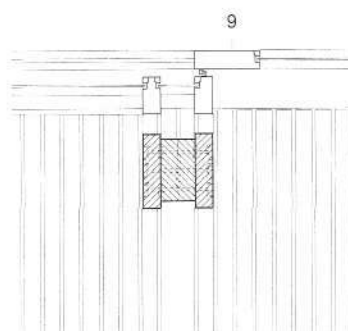
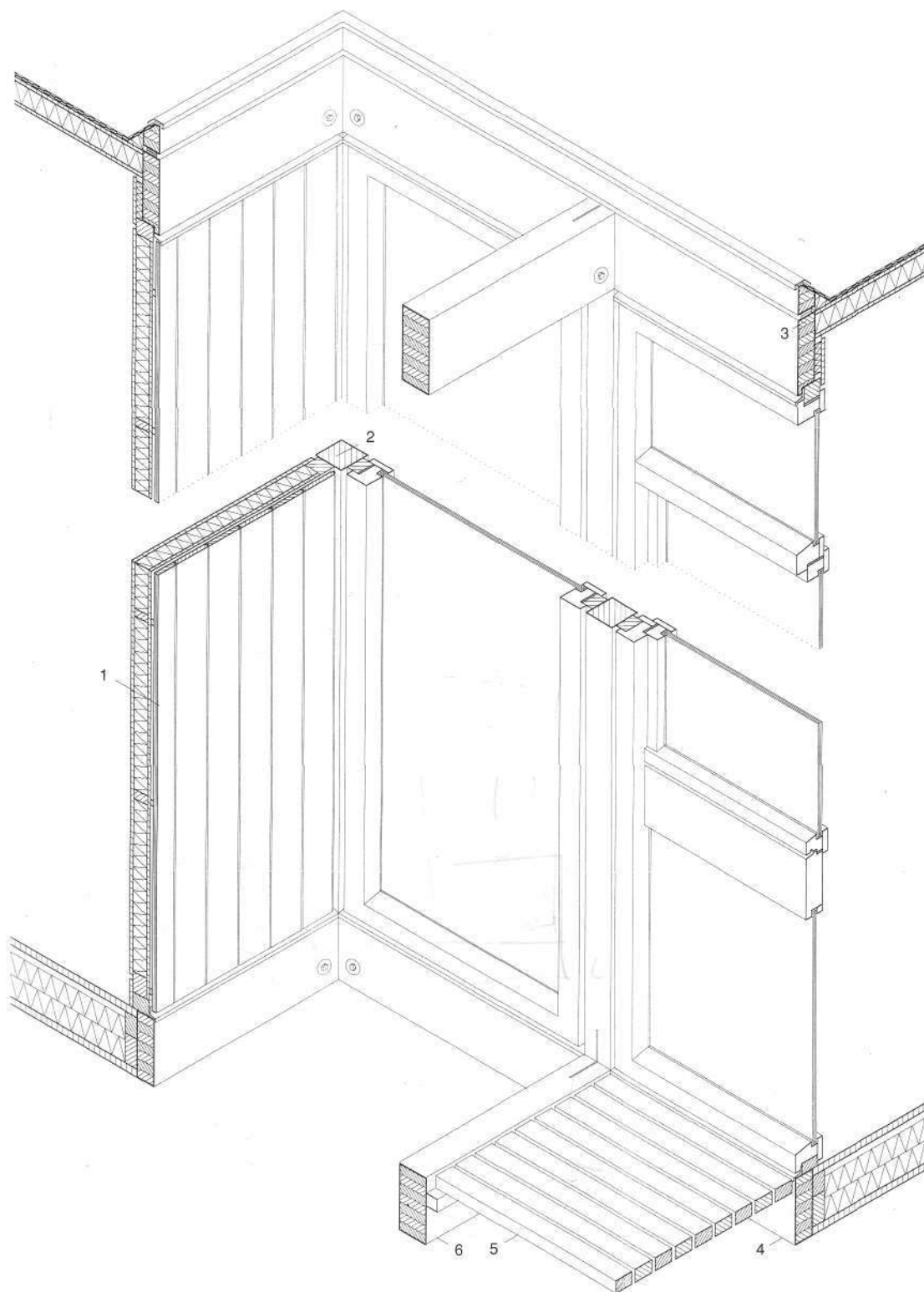
Celle, Germania; 1984

Architetto: Peter Stürzebecher. Berlino

- Reticolo: 452 e 238 erri
- Distanza montanti di facciata. travi secondarie e travetti: 53 cm
- Luce di apertura per due campate: 100 cm
- Tempo di montaggio 6 settimane
- Dettagli semplici
- Montaggio fai-da-te

1 Parete esterna: ventilata, 248 mm
Rivestimento 19,5/150, verticale
Controlistellatura 24/48
Barriera al vapore
Isolamento 120
Pannello pressato piano 13
Protezione dal vento, cartone. idrorepellente
Listellatura, orizzontale 24/48
Tavolato di pavimento e soffitto 24 160
2 Montante 200/200
3 Pilastro 60/120
4 Traverso 60/120
5 Trave principale 200/280
6 Travetto 60/180
7 Trave secondaria 60/200
8 Persiana dì finestra (rappresentala aperta e chiusa)
9 Soletta per finitura successiva
10 Parete interna
11 Galleria, pilastro 60/60

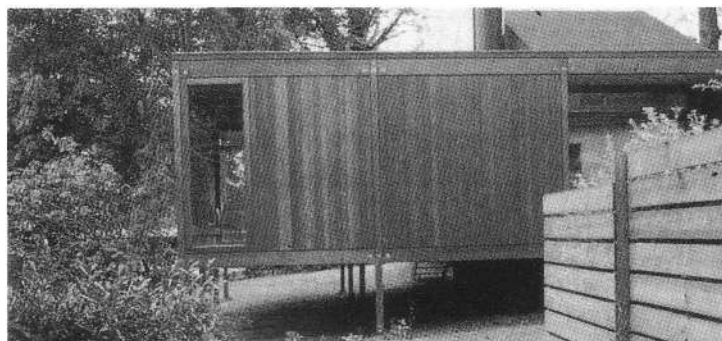
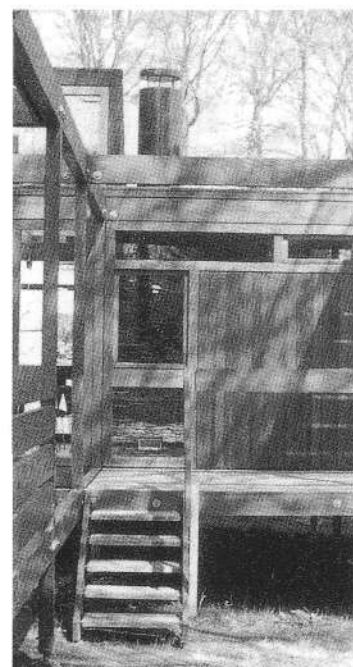
25 • Villaggio di vacanze giovanile

Cieux, Haute Vienne, Francia; 1985

Architetto: Roland Schweitzer, Parigi
Collaborazione: Ch. Peyret

Sezione della sala da pranzo
- Reticolo: 210 cm
- Elementi di parete e di soletta prefabbricati

1 Profilo a U, 2 x 65/42
2 Trave 50/110
3 Trave graticcio di listelli, 32/105
4 Listelii 40/150
5 Soglia 45/42
6 Legno duro 95/200
7 Montante a pinza, 2 x 50/200
8 Trave 95/320, lamellare
9 Porta scorrevole

26 • Casa di abitazione

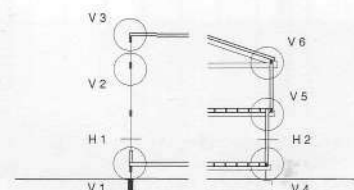
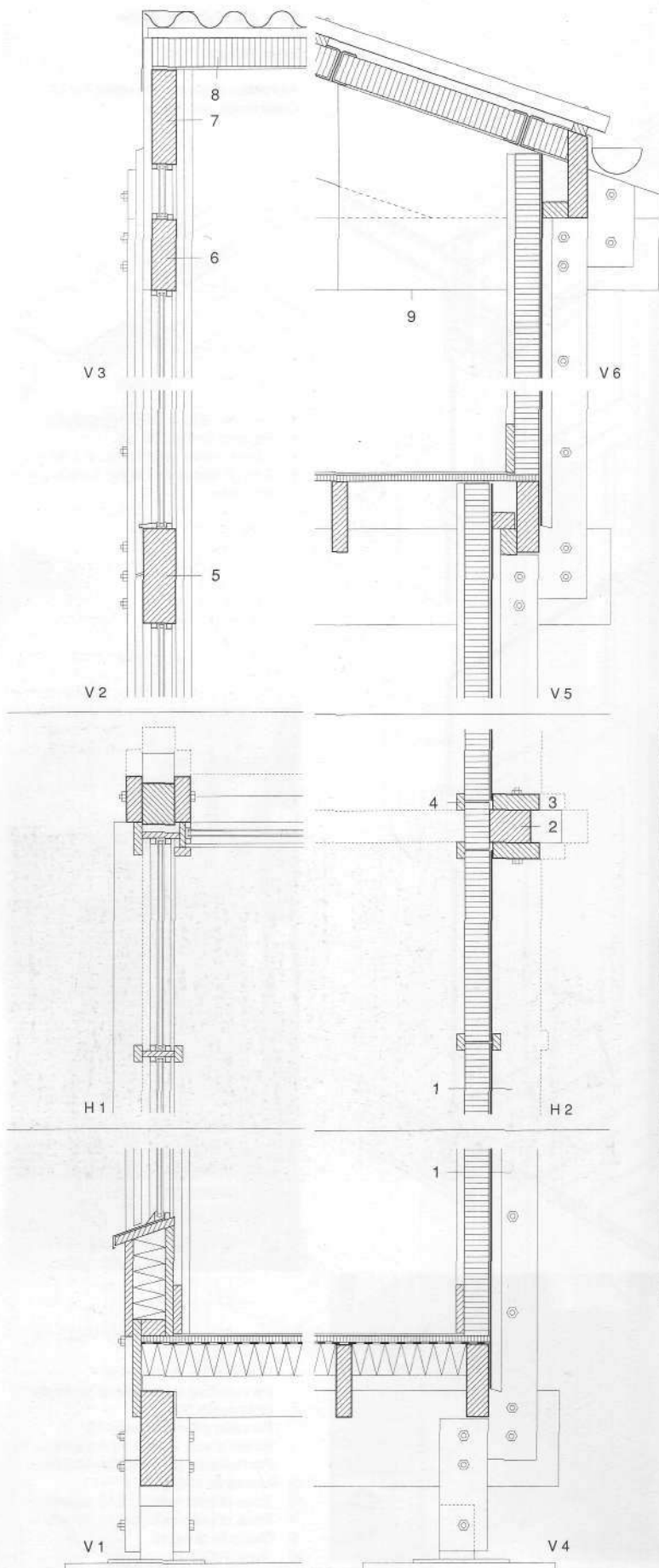
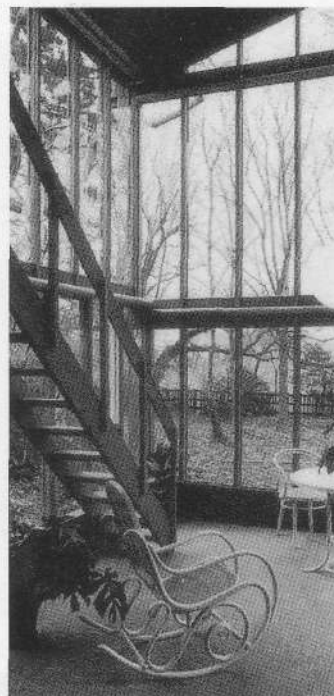
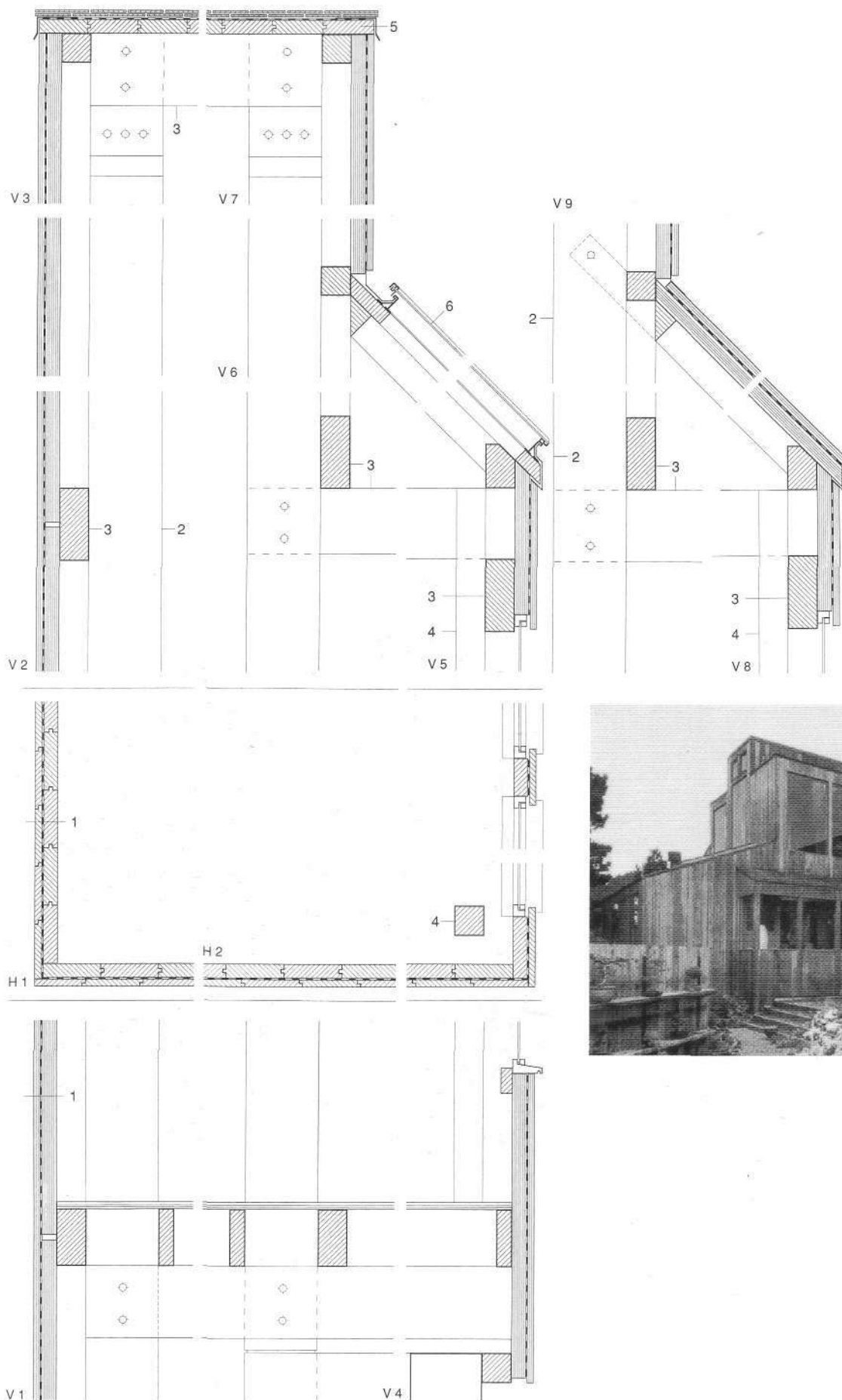
Brest, Francia; 1983

Architetto: Roland Schweitzer, Parigi
Collaborazione: P. Jean

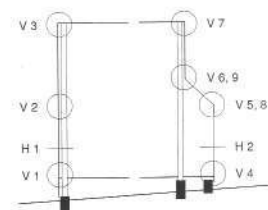
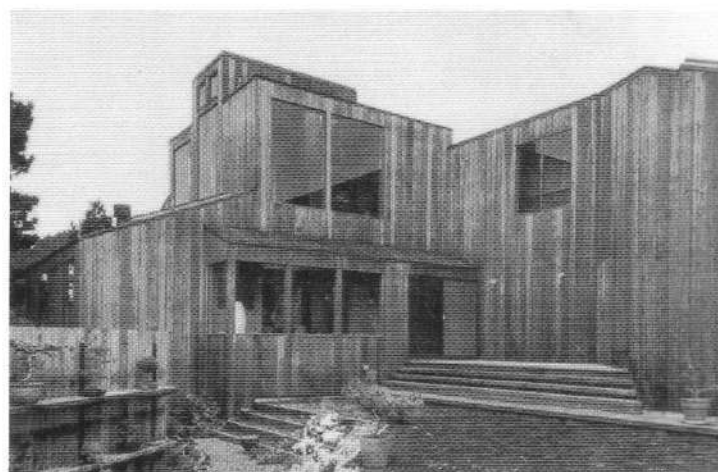
- Reticolo: 270 + 10 cm (quadrato)
- Reticolo finitura: 90 cm
- Pilastri e travi secondarie: e = 90 cm
- Tutti gli elementi di legno a vista: legno tropicale

1 Parete esterna: 104 mm
Pannellatura o pannello dì particelle 12
Isolamento 50
Pannello pressato piano 12
Strato d'aria: listellatura orizzontale 10
Pannellatura esterna 20, verticale
2 Montante 100/100
3 Trave di estremità 65/240, lamellare
4 Trave di estremità 70/210, lamellare
5 Graticcio di legno
6 Trave 100/210

27 • Casa di abitazione

Cambridge, Gran Bretagna; 1974

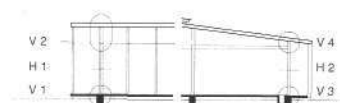
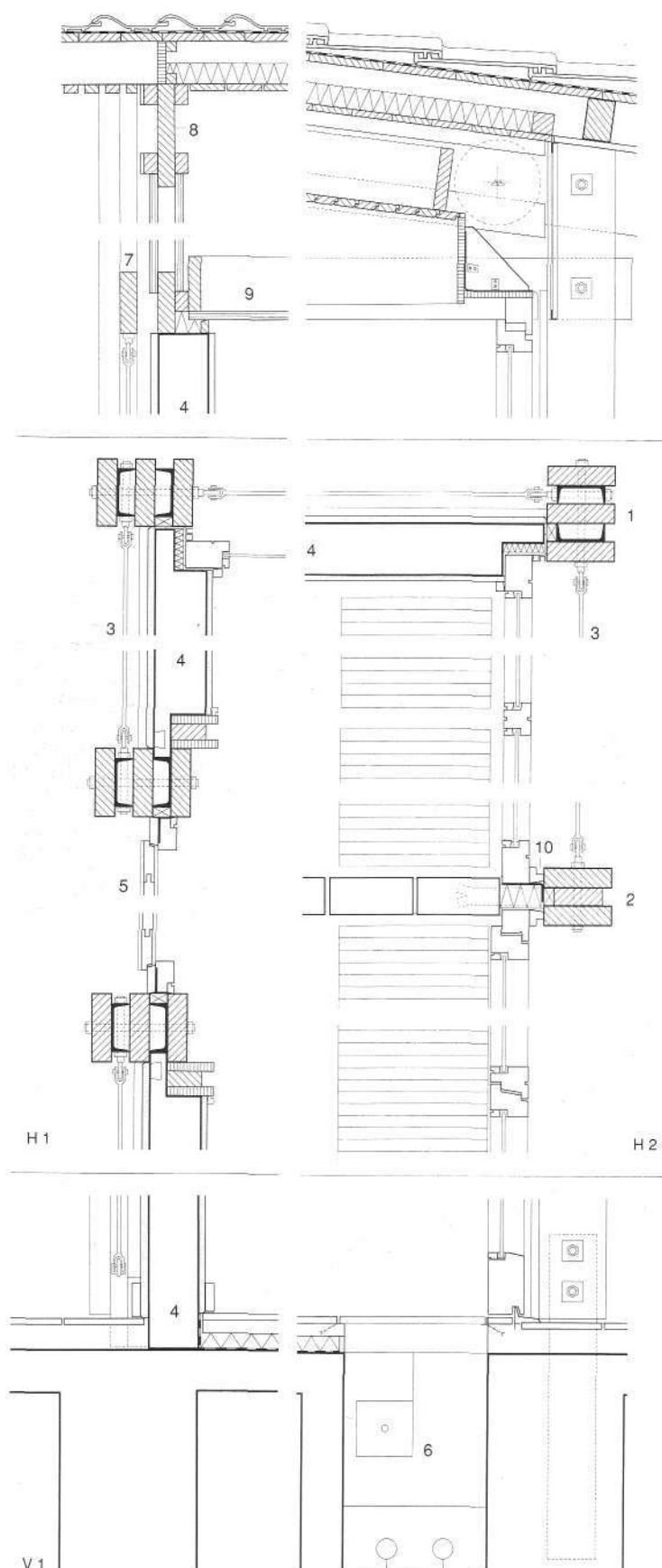
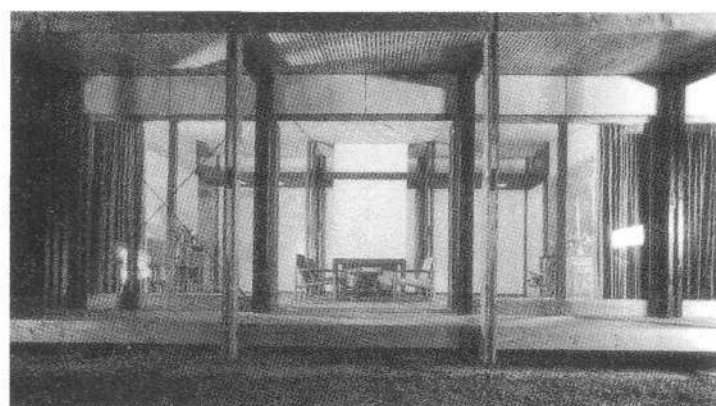
Architetto: Marciai Echenique, Cambridge

- Reticolo: 381 x 381 cm
- Reticolo ampliamento: 60 cm
- Costruzione in tsuga
- Misure standard per pannelli da costruzione leggeri in lana di legno, pannelli di fibrocemento, finestre e porte
- 1 anno di tempo per la progettazione, 3 mesi per la costruzione
- Costi di costruzione ridotti
- Parzialmente privo di protezione strutturate del legno

1 Parete esterna: (6,125 pollici) 194 mm
Pannello da costruzione leggero in lana di legno 162
Pannello di fibrocemento smaltato 32
2 Montante (475") 101,6/127
3 Incavallatura (276") 2 x 50,8/152,4
4 Listelli di copertura (172") 25,4/50,8
5 Trave (4712") 101,6/304,8
6 Elemento ligneo di telaio (379") 76,2/228,6
7 Trave (4712") 101,6/304,8
8 Pannello da costruzione leggero in lana di legno incorniciato con profilo a C
9 Coprigiunto, legno compensato

28 • Sea Ranch

California, Stati Uniti; 1965

Architetti: MLTW/Moore, Lyndon, Turnbull & Whitaker

- Complesso residenziale per vacanze con dieci unità chiuse
- Costruzione in ossatura di legno semplice e robusta con sei montanti per corpo costruttivo in abete segato ma non piallato
- Tutte le travi collegate lateralmente o appoggiate
- Croce di controventature e antisismica in elementi lignei squadrati (474") (10,16/10,16 cm), collegati con piastre di lamiera a vista a quarto di cerchio
- Travi con mensole più grandi possibili per minimizzare il numero di montanti

1 Parete esterna: 3" (76,2 mm)
Tavole segate ma non piallate, abete, (278") 50,8/203,2, verticali, con scanalatura e linguetta, lato interno in parte dipinto con vernice colorata coprente
Impermeabilizzazione
Tavolato, redwood, 25,4/203,2, con piega a gradini
2 Montante 10710" (254/254)
3 Trave 4710" (101,6/254)
4 Montante supplementare nel settore della finestra 474" (101,6/101,6)
5 Copertura:
tavole segate ma non piallate, abete. 50,8/203,2, con scanalatura e linguetta
Impermeabilizzazione
Tavolato, redwood, 178" (25,4/203,2)
6 Lucernario, profilo di alluminio

29 • Casa di abitazione

Gmund sul lago Tegern, Germania; 1960

Architetto: Hans Busso von Busse, Monaco
Collaborazione: B. von Busse

- Reticolo: 125 cm
- Distanza tra i montanti: 250 cm in direzione longitudinale e 375 cm in direzione trasversale
- Montanti in profili di legno di quercia da 60/200 aggiunti a formare elementi gemellari o tripli a seconda della sollecitazione
- Telai delle finestre in larice rosso della Stiria

1 Montanti tripli sul lato de! timpano 3x60/200, laricee2xU 140
2 Montanti doppi nella campata 60 *x* 200
3 Controvento nelle campate di estremità
4 Muratura intonacata
5 Porta di ingresso
6 Canali di riscaldamento con convettori
7 Asta compressa 50/180
8 Trave 50/260, incollata
9 Controsoffitto
10 Guide per avvolgibili

H 1

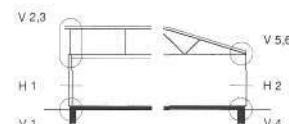
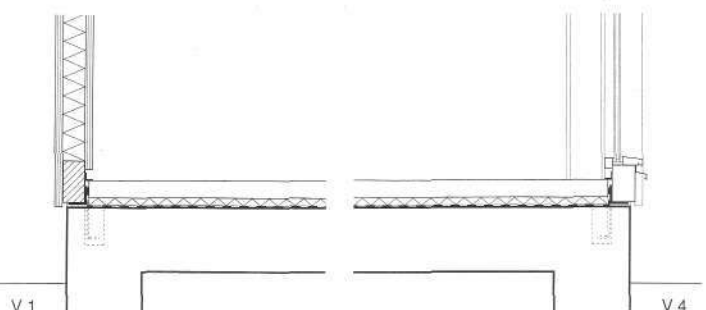
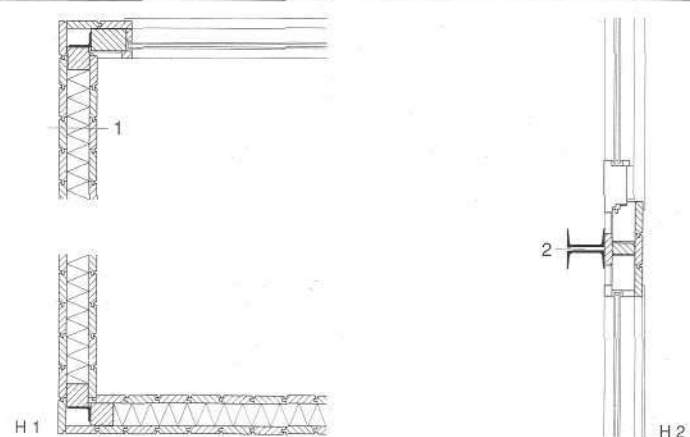
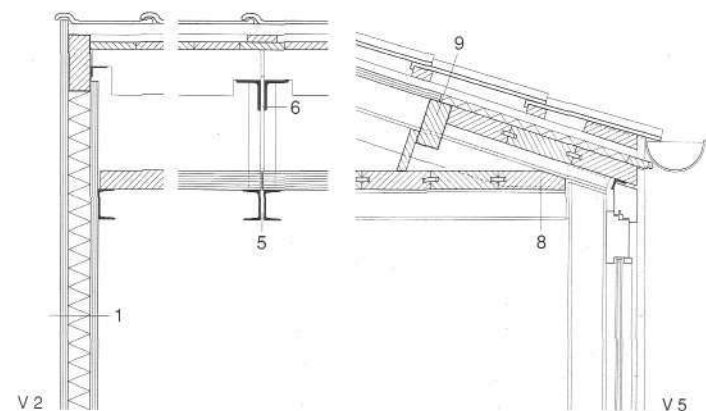
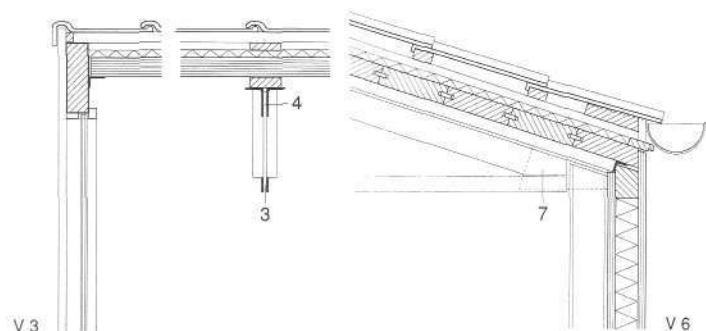
H 2

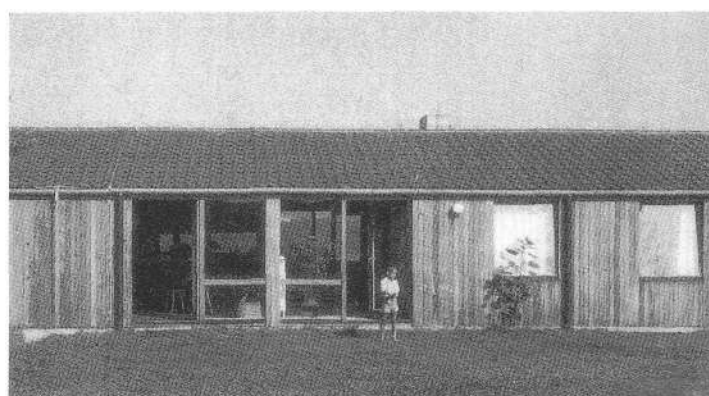
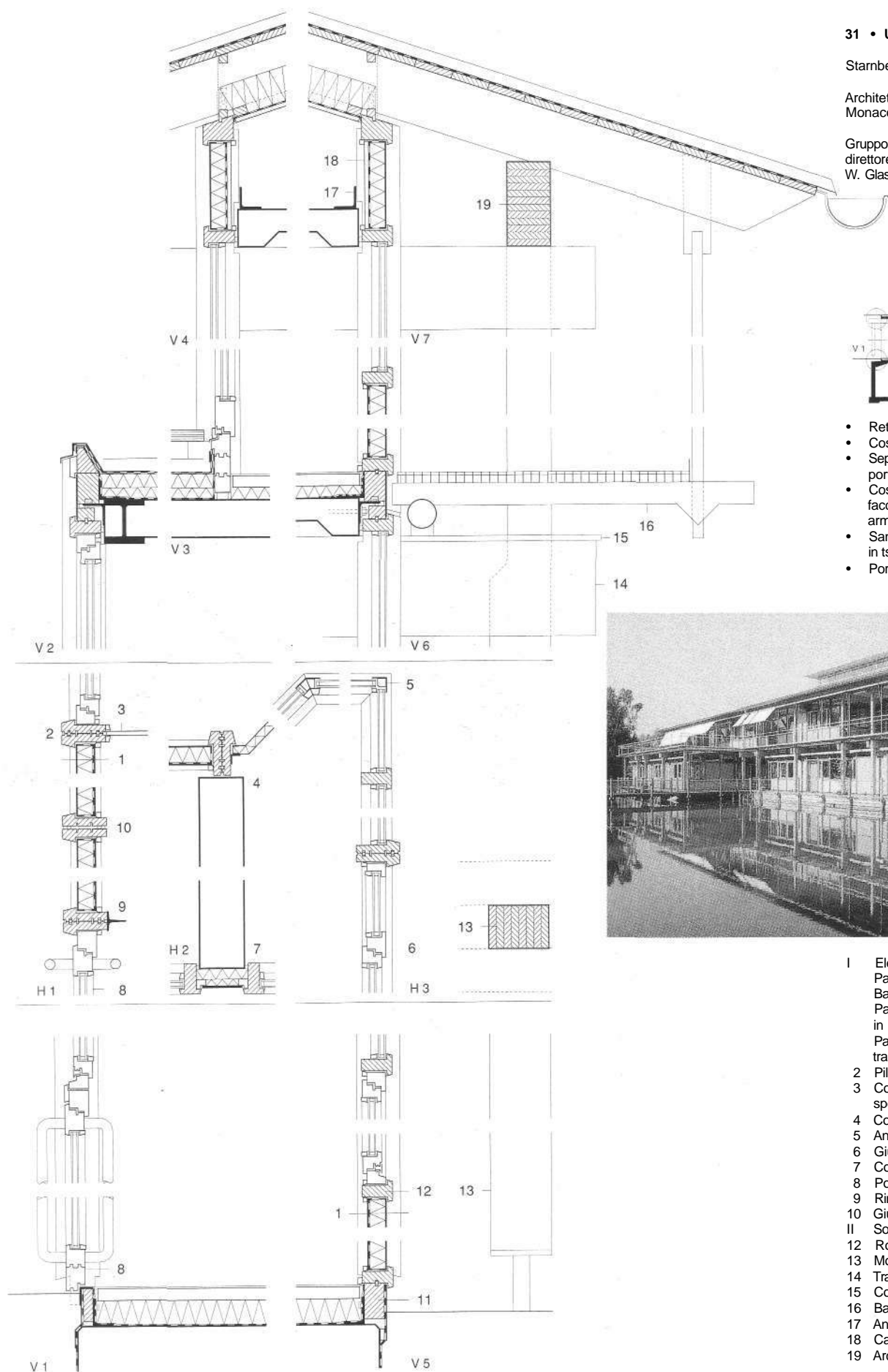
V 1

30 • Casa di abitazione

Glonn-Haslach, Germania; 1963

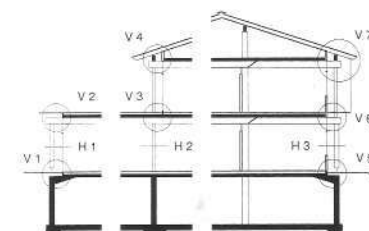
Architetti:
Werner e Grete Wirsing, Monaco

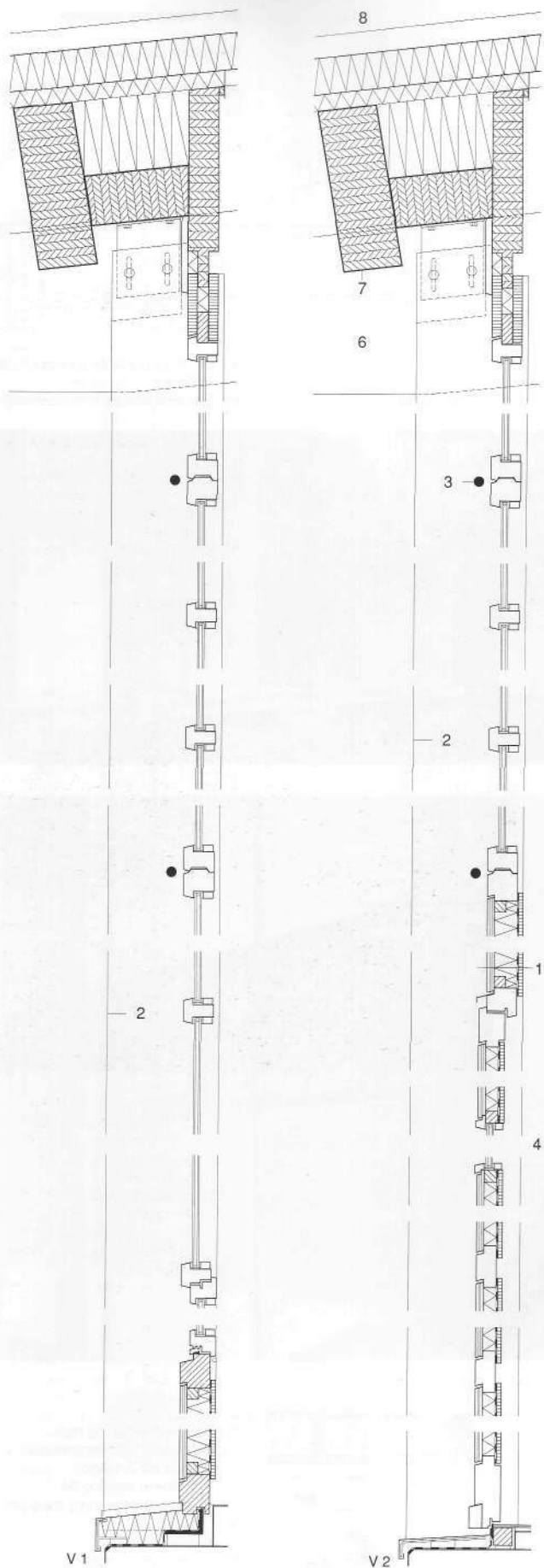
4
3
7
V 3
V 6

- Struttura portante in profili ondulati di acciaio
- Montanti e travi reticolari e = 250 cm
- Divisione della facciata: 125 cm
- Tavole di parete, finestre e portefinestre prefabbricate, in larice

2
H 2

1 Parete esterna: 100 mm
Rivestimento interno 20/84,
con scanalatura e linguetta
Isolamento termico 60
Rivestimento esterno 20/84
2 Montante 2 x U 100
3 Corrente inferiore 2 x 5/40
4 Corrente superiore 2 x L 50/80/5
5 Corrente inferiore 2 x U 80
6 Corrente superiore 2 x L 80/65/8
7 Lamiera nodale
8 Tavolato 50
9 Trave 60/120

31 • Ufficio distrettuale

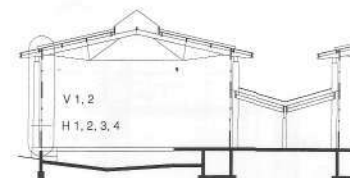
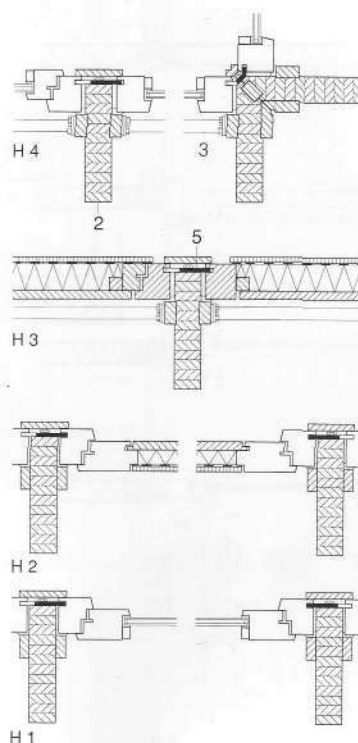
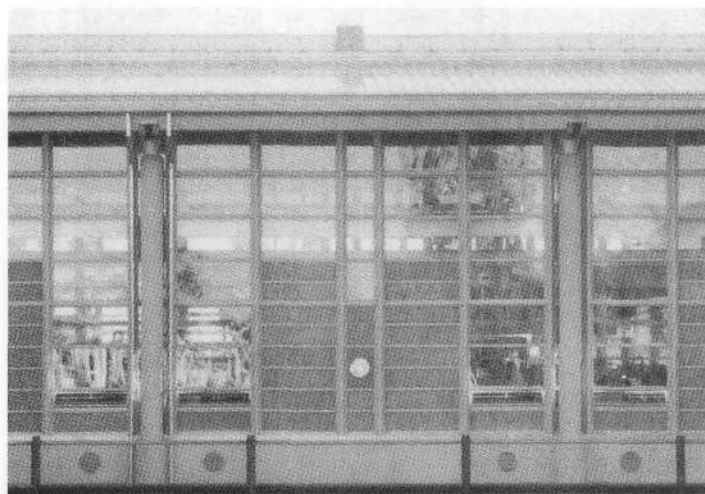
Starnberg, Germania; 1987

Architetti: Auer & Weber, Monaco/Stoccarda

Gruppo di progettazione: Christoph Hilzinger, direttore di progetto; T. Bittcher-Zeitz, W. Glaser, K. Habisreutinger

- Reticolo: 480 x 240 x 480 cm
- Costruzione a incavallatura
- Separazione di facciata e struttura portante
- Costruzione traverso-pilastro della facciata fissata alla soletta di cemento armato
- Sandwich ed elementi di finestre in tsuga
- Porte in meranti

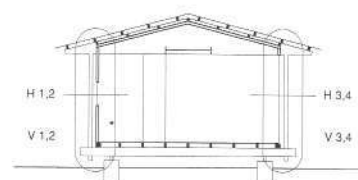
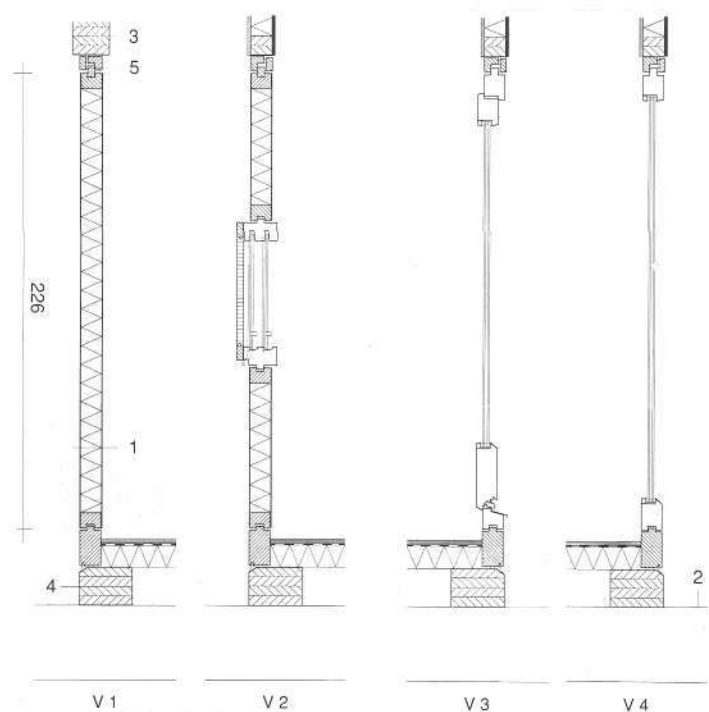
I Elemento sandwich: 68 mm
Pannello di fibrocemento 4
Barriera al vapore, foglio di alluminio
Pannello espanso rigido in poliuretano 60
Pannelli di fibrocemento verniciato trasparente 4
2 Pilastro 2x48/156
3 Connessione parete divisoria vetro spesso
4 Connessione facciata e parete
5 Angolare di alluminio
6 Giunto vetrata fissa - battente
7 Connessione parete divisoria
8 Porte che si aprono verso l'esterno
9 Rinforzo verticale T 70 (6 m)
10 Giunto di separazione
II Soglia in legno duro 78/120
12 Rompitratta78/110
13 Montante 160/220, lamellare
14 Trave 2 x 160/350 - 400, lamellare
15 Copertura di lamiera
16 Balcone, griglia sospesa
17 Angolare 80
18 Cartongesso 15
19 Arcareccio 160/280

32 • Edificio industriale

Gelting, Germania; 1986

Architetti: Beck-Enz-Yelìn, Monaco

- Facciata a elementi con dettagli di montaggio semplici
- Tutti gli elementi in legno massello della facciata di abete rosso
- Connessione mobile verticale superiore
- Superfici di legno della facciata esterna con verniciatura trasparente, in parte colorata

1 Parete esterna: 107 mm
Compensato con piallaccio di abete rosso 15
Barriera al vapore
Isolamento termico 70
Pannellatura 22, verticale, con scanalatura e linguetta, verniciatura trasparente colorata
2 Pilastro 70/310 lamellare
3 Irrigidimento orizzontale della facciata a causa della snellezza dei pilastri
4 Finestre circolari nell'anta della porta
5 Morsetti in metallo leggero
6 Corrente superiore della trave principale rinforzata da tiranti inferiori, gemelli 130/650, lamellare
7 Arcareccio 180/500, lamellare
8 Tetto in lamiera, a due strati

33 • Casa per vacanze

Breitbrunn, Germania; 1970

Architetti: R. & R. Then Bergh, Monaco

- Struttura portante e involucro separati
- Reticolo: 113 + 6 cm
- Elementi di parete trasformabili

226

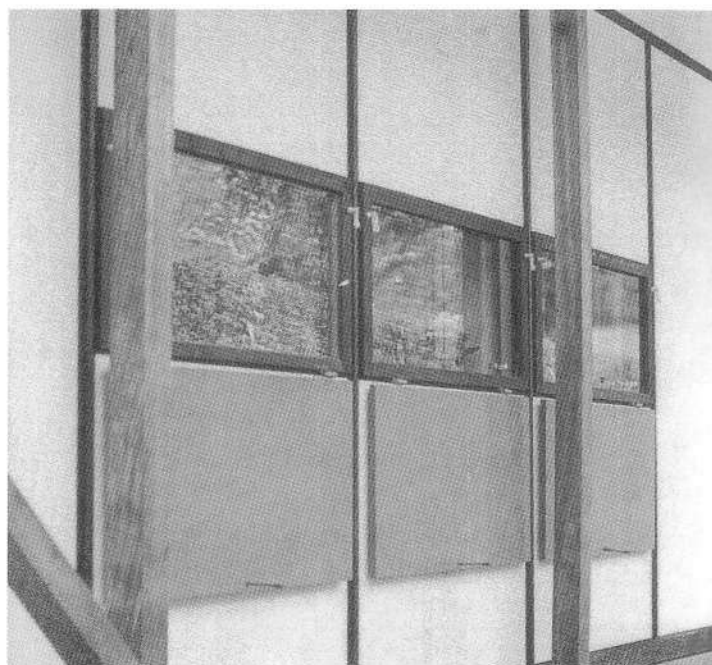
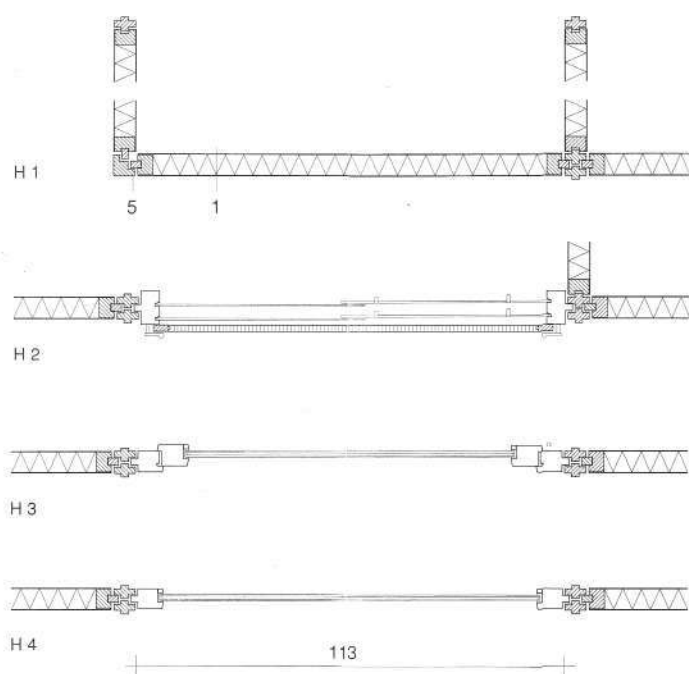
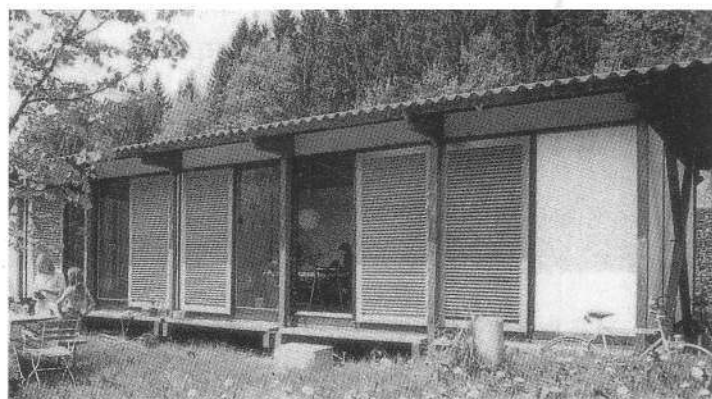
V 1 V 2 V 3 V 4

H 1

H 2

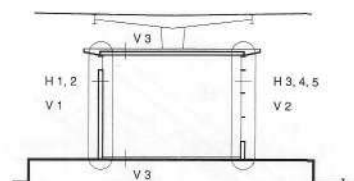
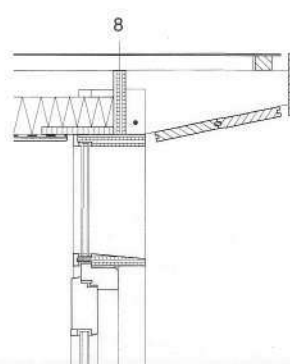
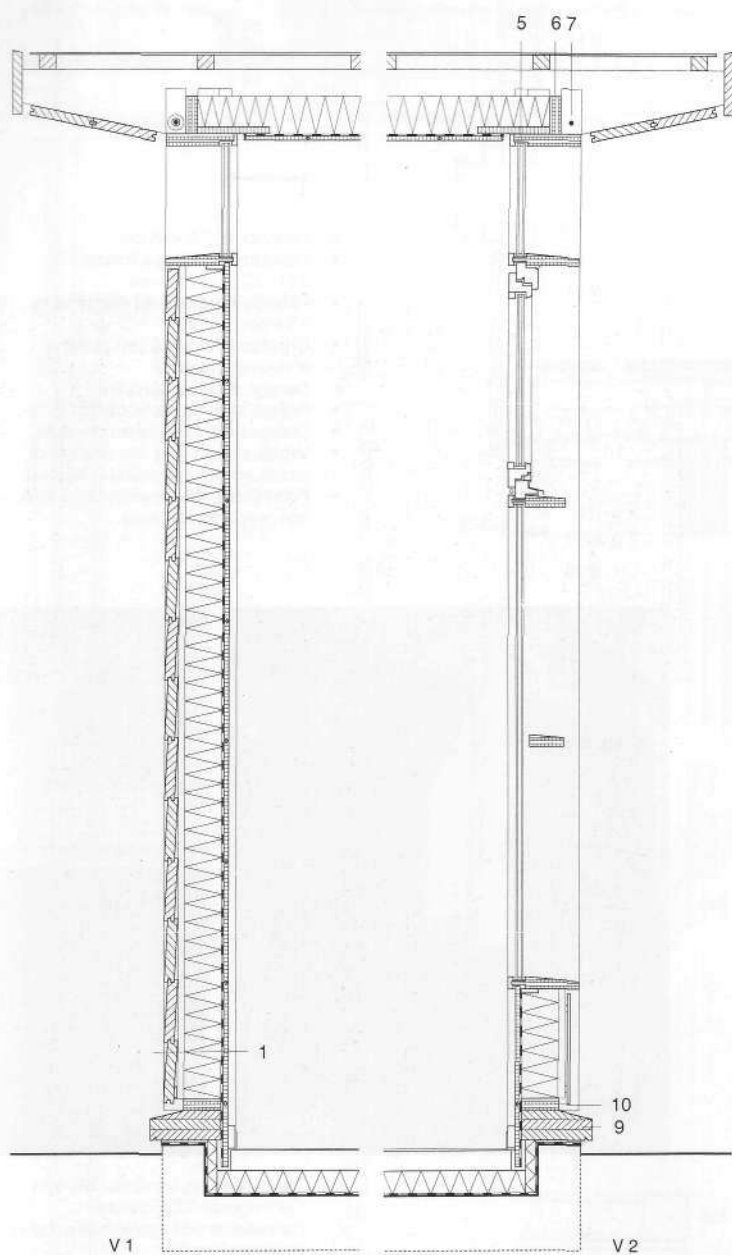
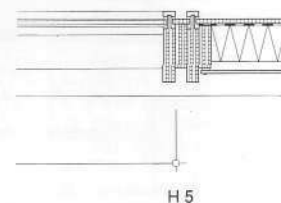
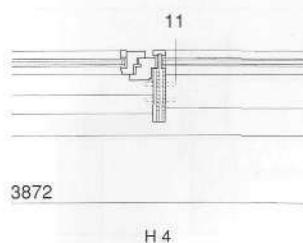
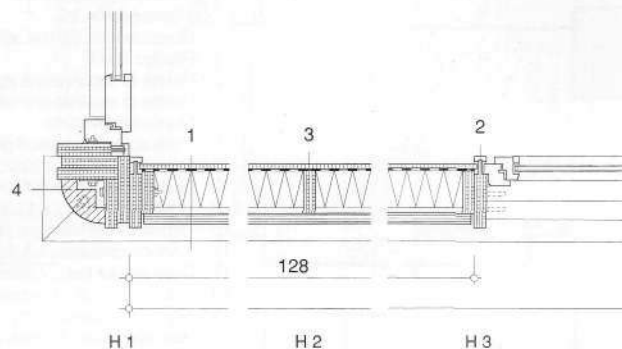
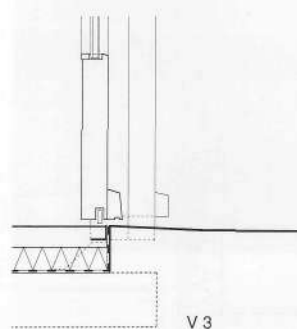
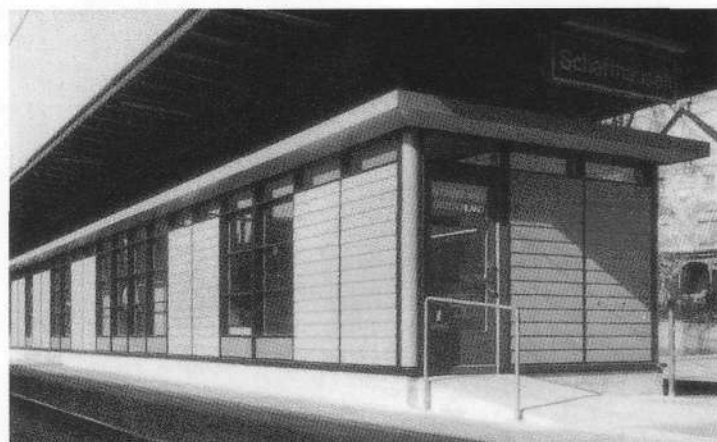
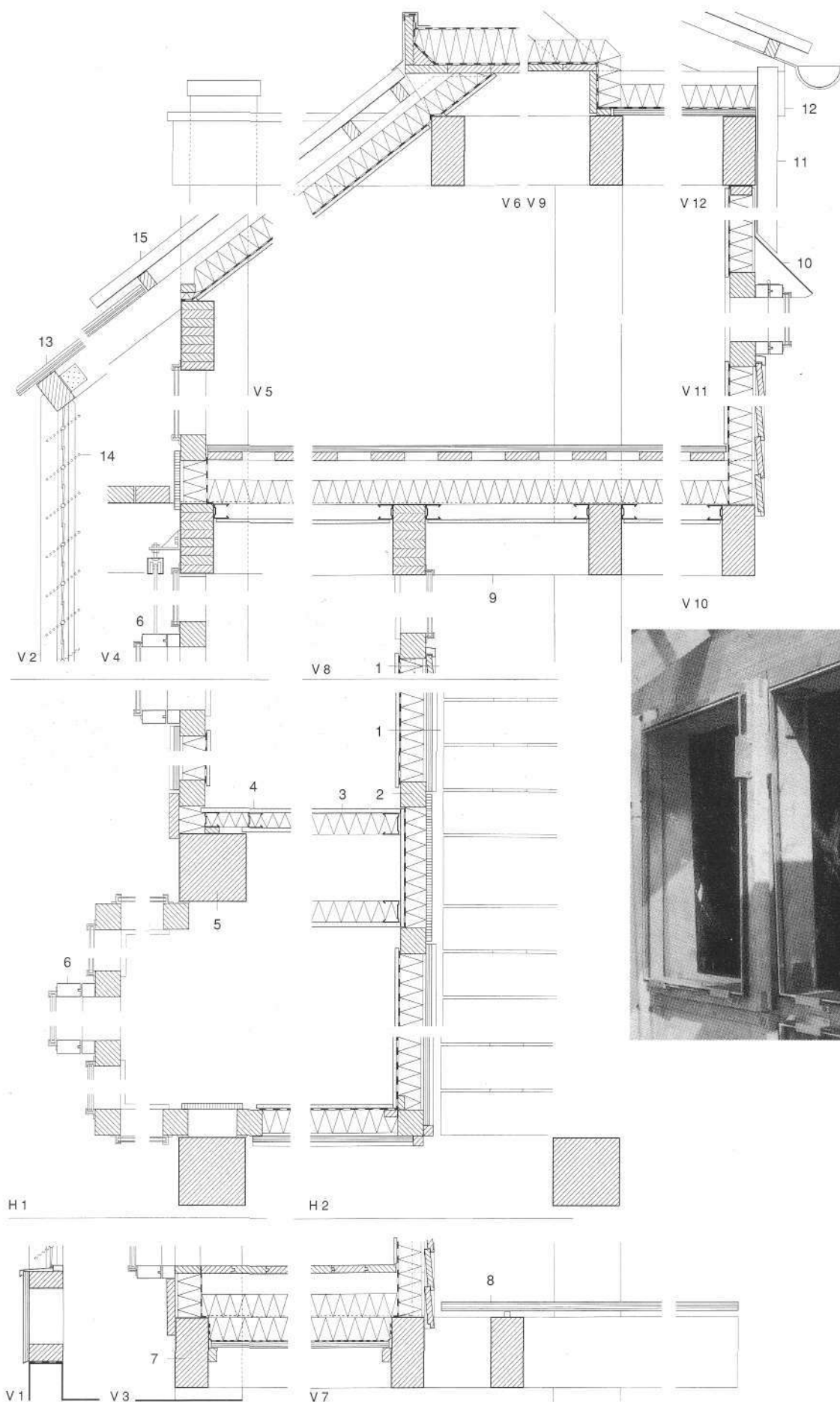
H 3

H 4

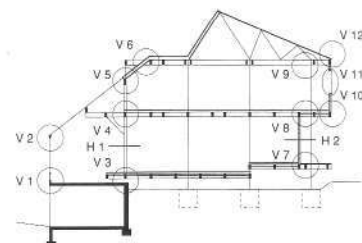
113

1 Parete esterna: 60 mm
  Sandwich con fibrocemento
  sui due lati 3, bianco
  Isolamento termico 54
2 Soglia superiore della trave principale
3 Capriata
4 Soglia 140/120
5 Profili di giunzione

34 • Edificio della dogana ferroviaria

Sciaffusa, Svizzera; 1988

Architetto: Hans Rupli, Hallau
Collaborazione: A. Maier e Ufficio tecnico di Sciaffusa

- Reticolo: 128 cm
- Modulo: 16 cm
- Larghezza elemento strutturale: 3x 128 + 3,2cm
- Elementi strutturali della facciata prefabbricati, con rivestimento interno
- Isolamento termico e rivestimento esterno montati in cantiere
- Tempo di montaggio: 12 ore
- Vernice acrilica: telai verdi, pareti grigie

1 Parete esterna, ventilata: 172 mm
  Palchetto di pannelli pressati piani 13/320
  Barriera al vapore
  Isolamento termico 100
  Ventilazione 20
  Tavolato con risvolto 27/173
  Larghezza copertura 165 con pannello di fibrocemento del davanzale della finestra 9
2 Montante 32/177, legno lamellare
3 Montante di elemento strutturale 32/120, lamellare
4 Rivestimento angolare ad aste, lamellare
5 Traverso di testa 32/177
6 Legno di tamponamento
7 Tirante filettato d = 12
8 Trave 32/170, legno lamellare
9 Soglia 80/190, lamellare
10 Traverso dì base 32/120, legno lamellare
11 Connessioni a spina

35 • Gruppo di case di abitazione

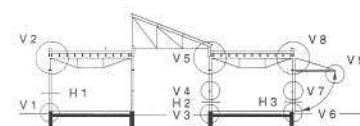
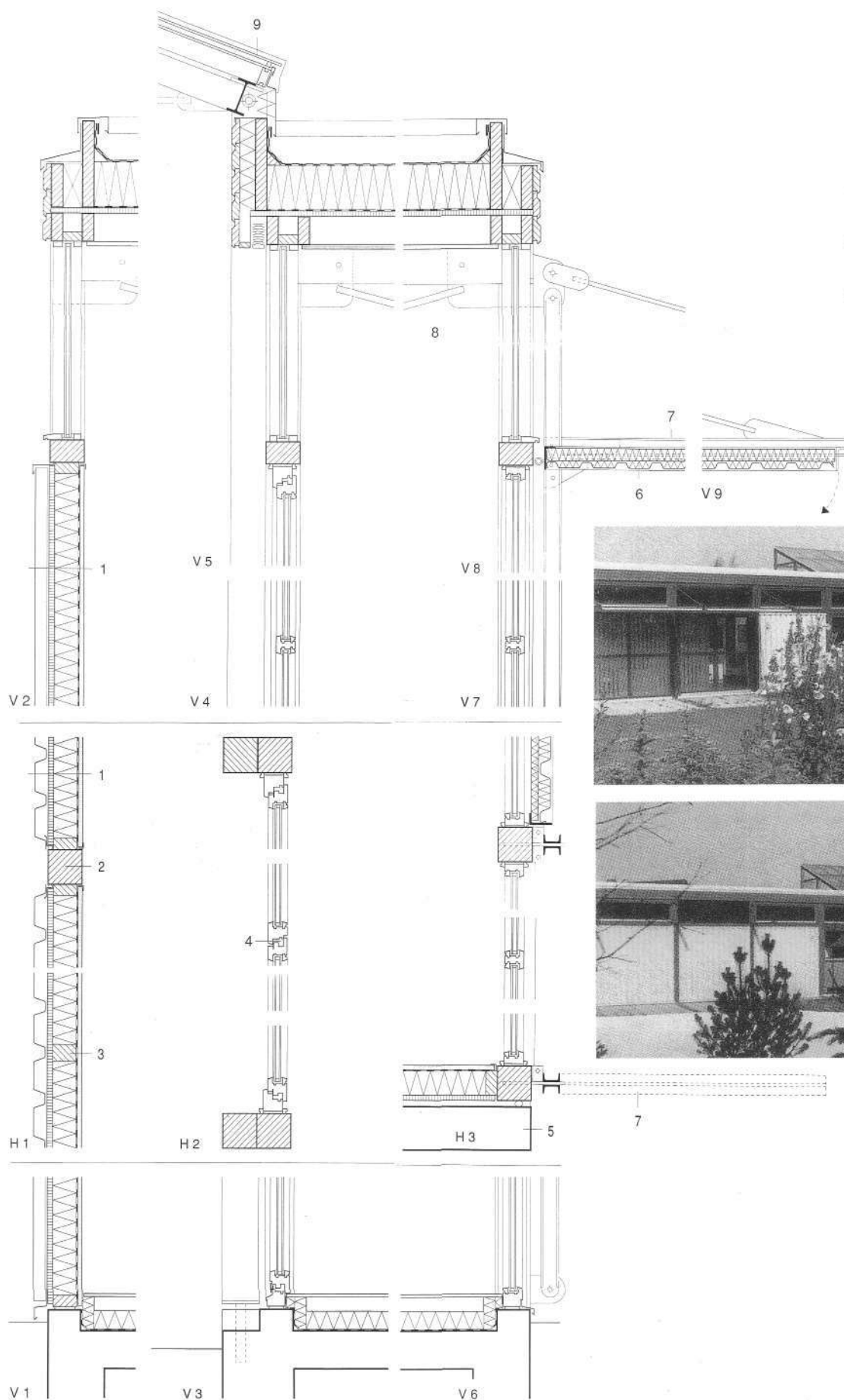
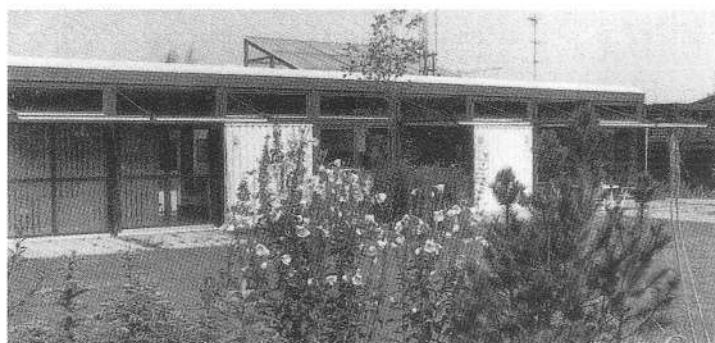
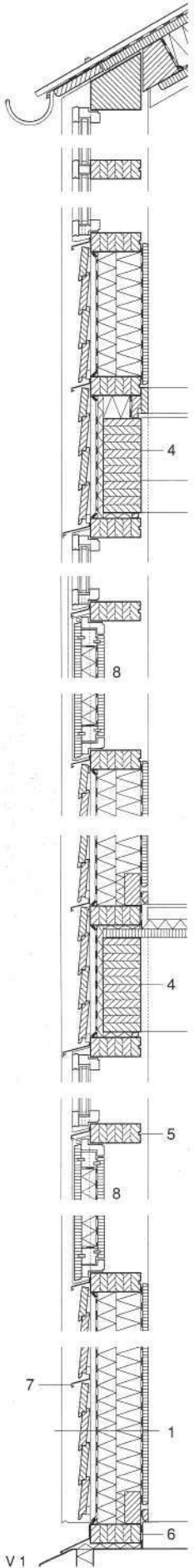
Monaco-Perlach, Germania; 1978

Architetti:
Doris e Ralph Thut, Monaco

- Reticolo: 327,5/445 cm
- Reticolo di facciata e finitura: 131 - 62,5 - 32,75 cm
- Reticolo in elevato del rivestimento: 13,5cm
- Orientamento a sud con giardino d'inverno antistante
- Dettagli di finitura semplici
- Finitura interna con fai-da-te
- Collegamenti con piastre chiodate
- Vetrata priva di telai con angolari di tenuta ed ermetizzazione in silicone
- Porte scorrevoli e finestre basculanti con guarnizioni a cassa

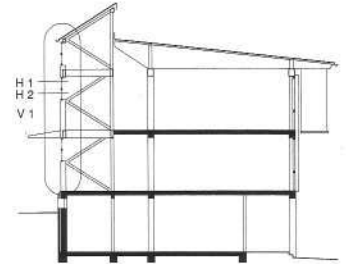
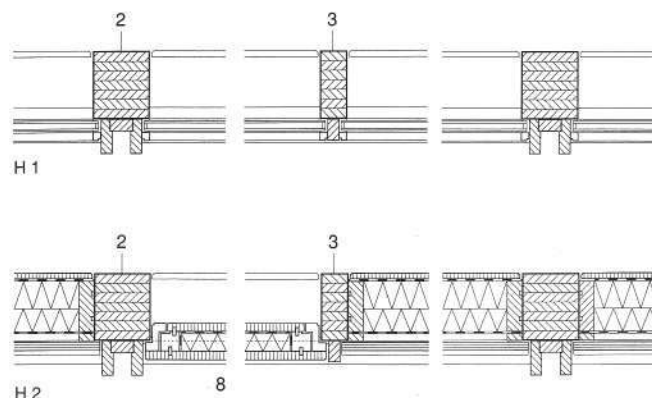
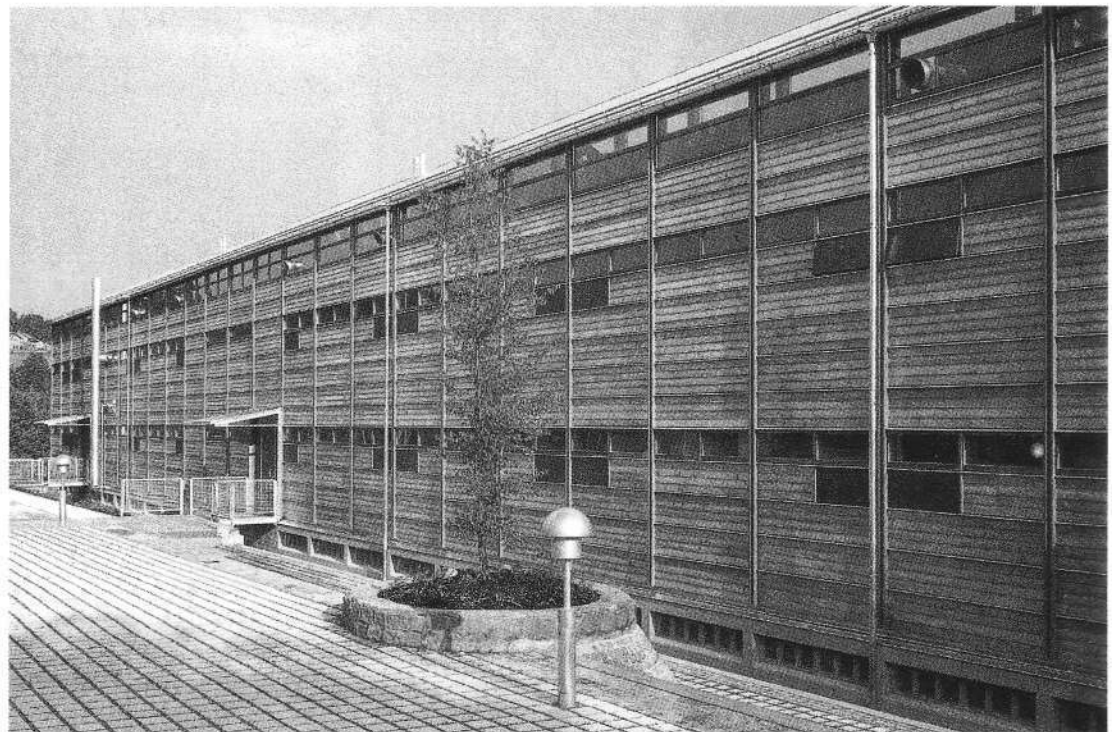
1 Parete esterna, ventilata: 125 mm
Cartongesso 12,5 oppure pannellatura con scanaiatura e linguetta
Barriera al vapore
Isolamento termico 80
Intercapedine 10
Rivestimento 20/150, orizzontale
2 Pilastro 90/90
3 Parete di separazione appartamento
4 Parete di separazione vani
5 Montante 240/240
6 Porta scorrevole verso il giardino d'inverno
7 Trave secondaria 120/250
8 Graticcio di legno 40/150
9 Trave principale 2 x 12/24, incavallatura
10 Copertura per finestra a bilico, trasparente
11 Cartone ondulato, bitumoso
12 Capriata del tetto, corrente inferiore
13 Vetrata obliqua, giunzione smussata
14 Finestra ad alette
15 Pannello ondulato, trasparente

36 • Casa di abitazione

Braunschweig, Germania; 1986

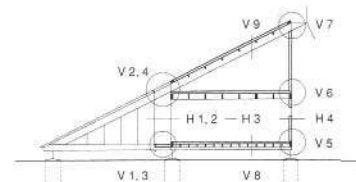
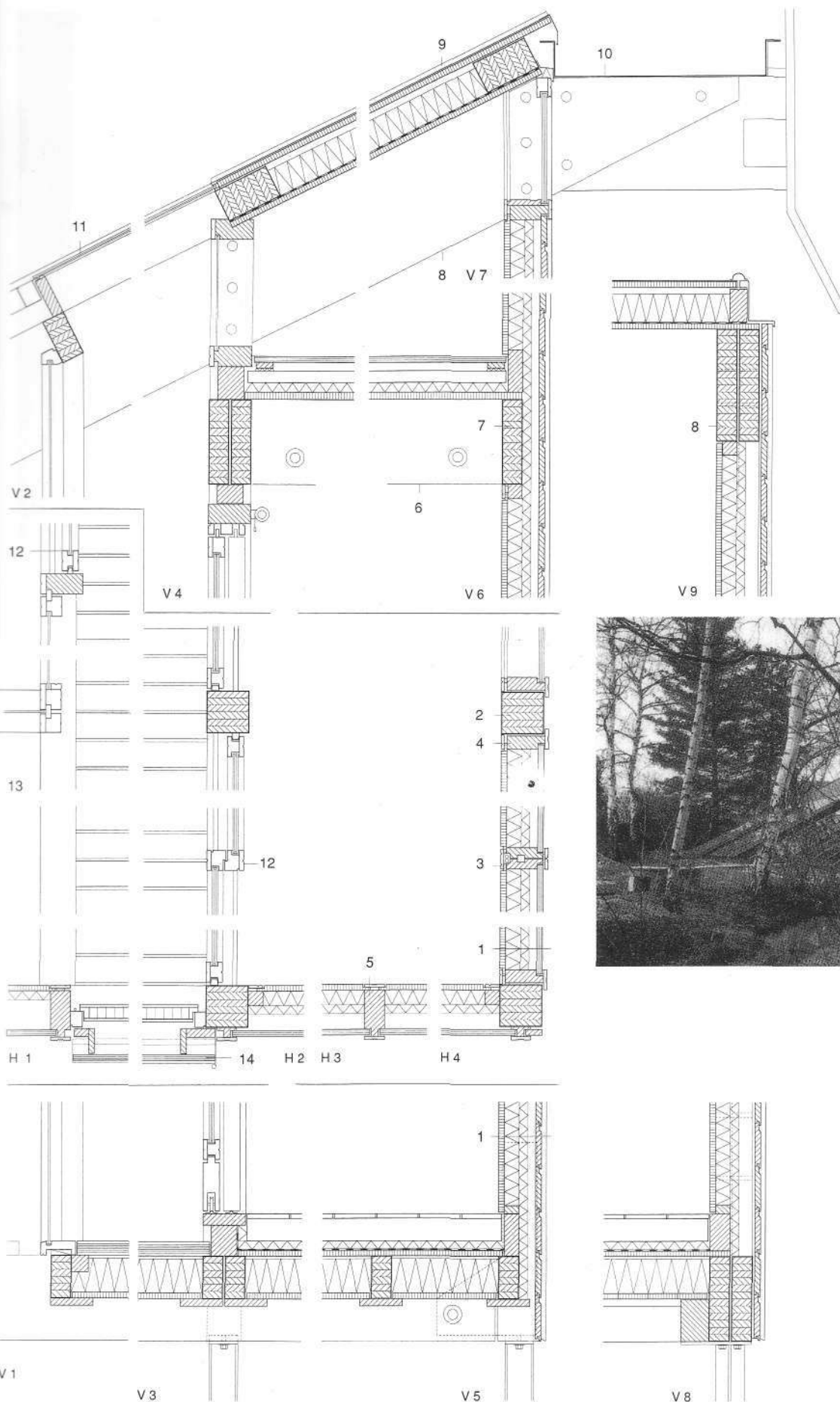
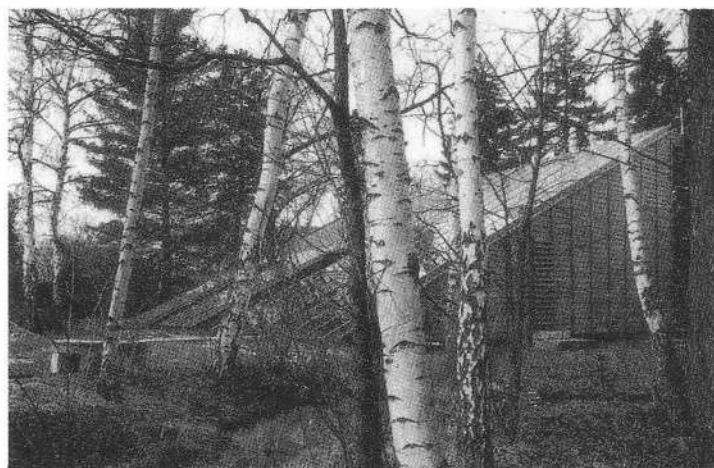
Architetto: Helmut C. Schulitz
Schulitz e associati, Braunschweig

- Reticolo: 225 cm (quadrato)
- Cortile interno coperto di vetro - non riscaldato - per la permanenza tra interno ed esterno nei giorni invernali soleggiati e in caso di brutto tempo
- Pannello per climatizzazione: aperto in estate - funge da tettoia e protezione in inverno chiuso - protezione dal freddo, l'illuminazione dei locali avviene tramite il cortile interno

1 Parete esterna: 159 mm
Cartongesso 15
Barriera al vapore
Isolamento termico 85
Pannello di truciolato 19
Lamiera trapezoidale 40
2 Montante 120/120
3 Pilastro 60/85
4 Porta del giardino d'inverno
5 Muratura in conglomerato di cemento
6 Pannello per protezione climatica/tettoia, girevole
Nastro della porta
Telaio L 40/80
Profili trapezoidali 40/167 e 25/125
7 Mensola ognuna composta da 2 U 30/60
Asta sospesa 14
8 Trave rinforzata inferiormente: 120/140
9 Vetrata del giardino d'inverno

37 • Centro di formazione per giovani

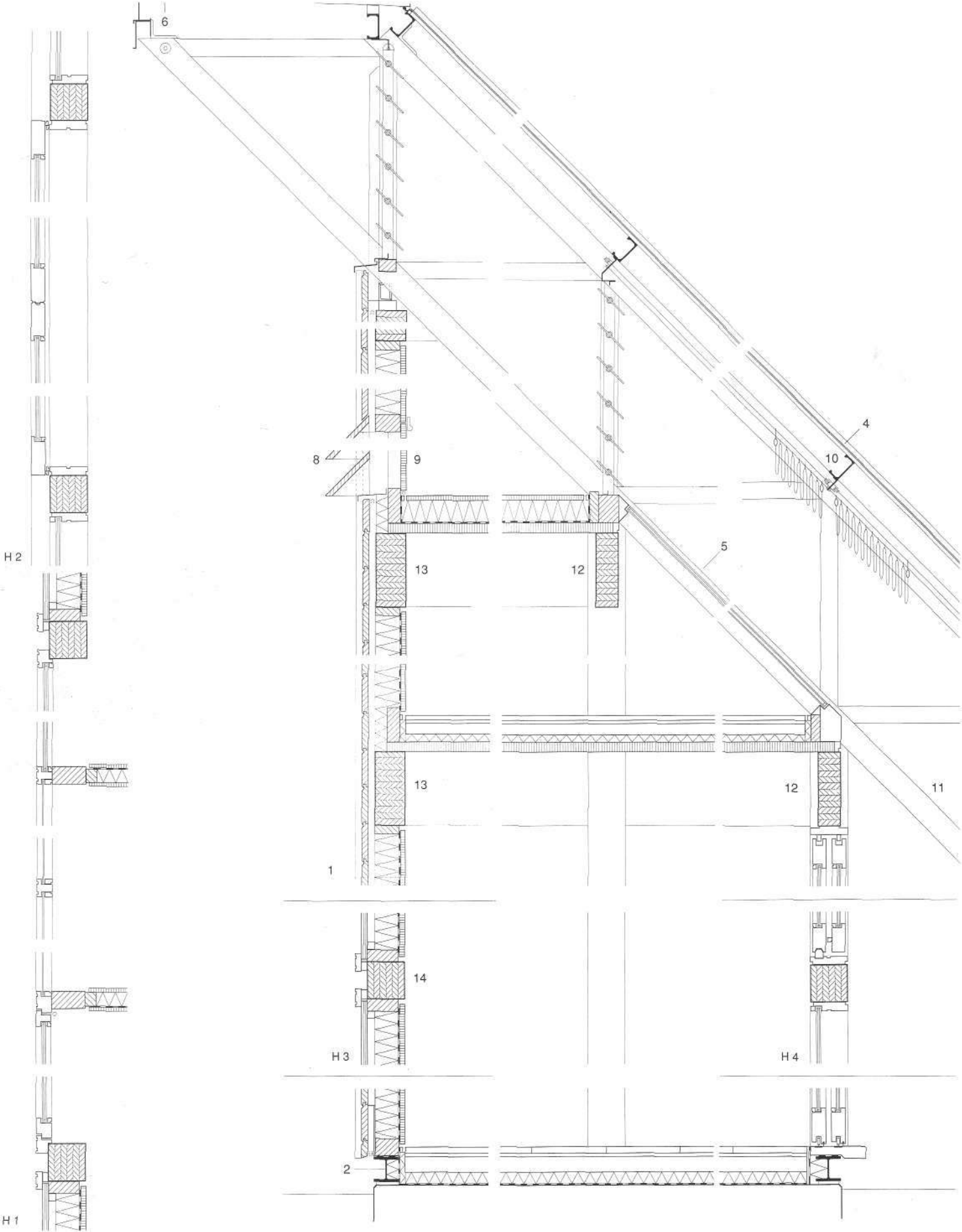
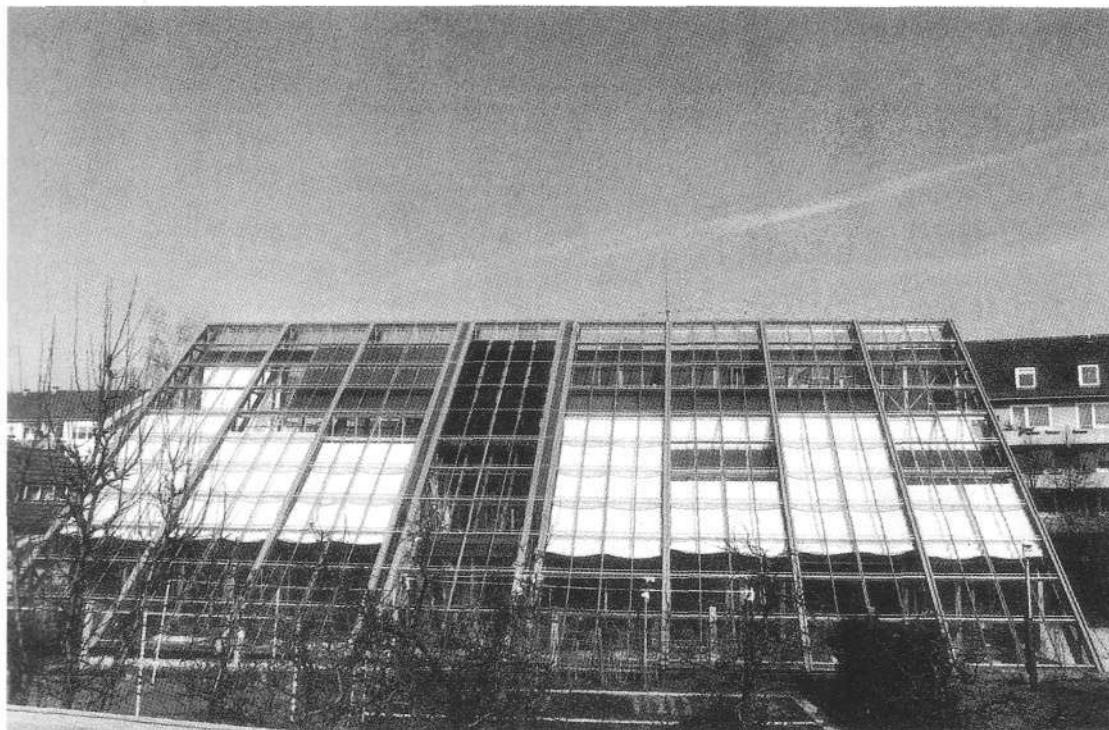
Windberg, Germania; 1990

Architetto: Thomas Herzog
Collaborazione: P. Bonfig

- Modulo: 15 cm
- Tavolato con risvolto in larice, verniciato trasparente
- Protezione antipioggia in profili a Z disposti regolarmente

1 Parete esterna: 197 mm
Compensato 15
Barriera al vapore, foglio di polietilene
Isolamento termico 140
Foglio traspirante, perforato
Strato d'aria 20
Tavolato con risvolto 22/137, larice
2 Montante 150/175, lamellare
3 Pilastro di facciata 70/175, lamellare
4 Trave 120/300, lamellare
5 Rompitratta 60/160, lamellare
6 Soglia 60/160, lamellare
7 Profilo a Z, aliuminio, ogni 45 cm
8 Deflettore di ventilazione

38 • Casa di abitazione

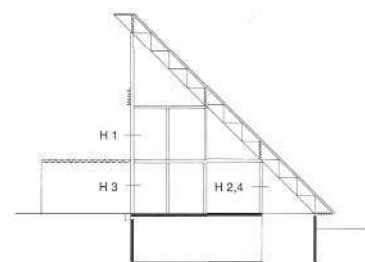
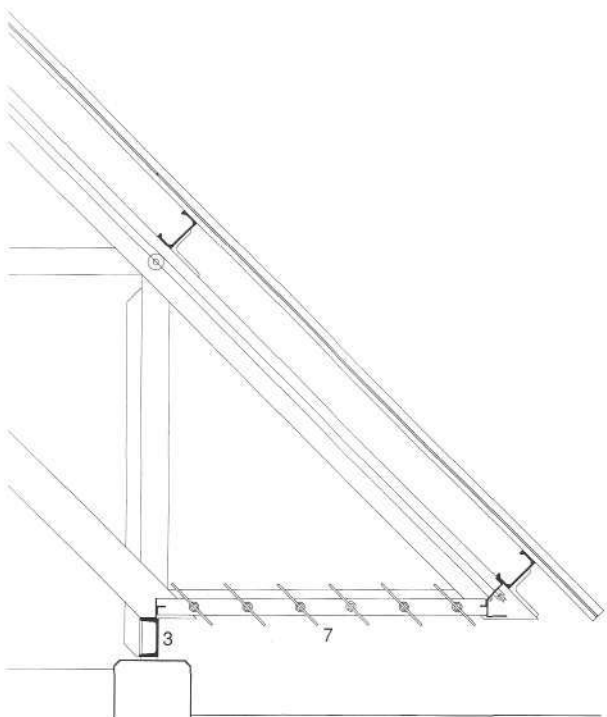
Ratisbona, Kumpfmühl, Germania; 1979

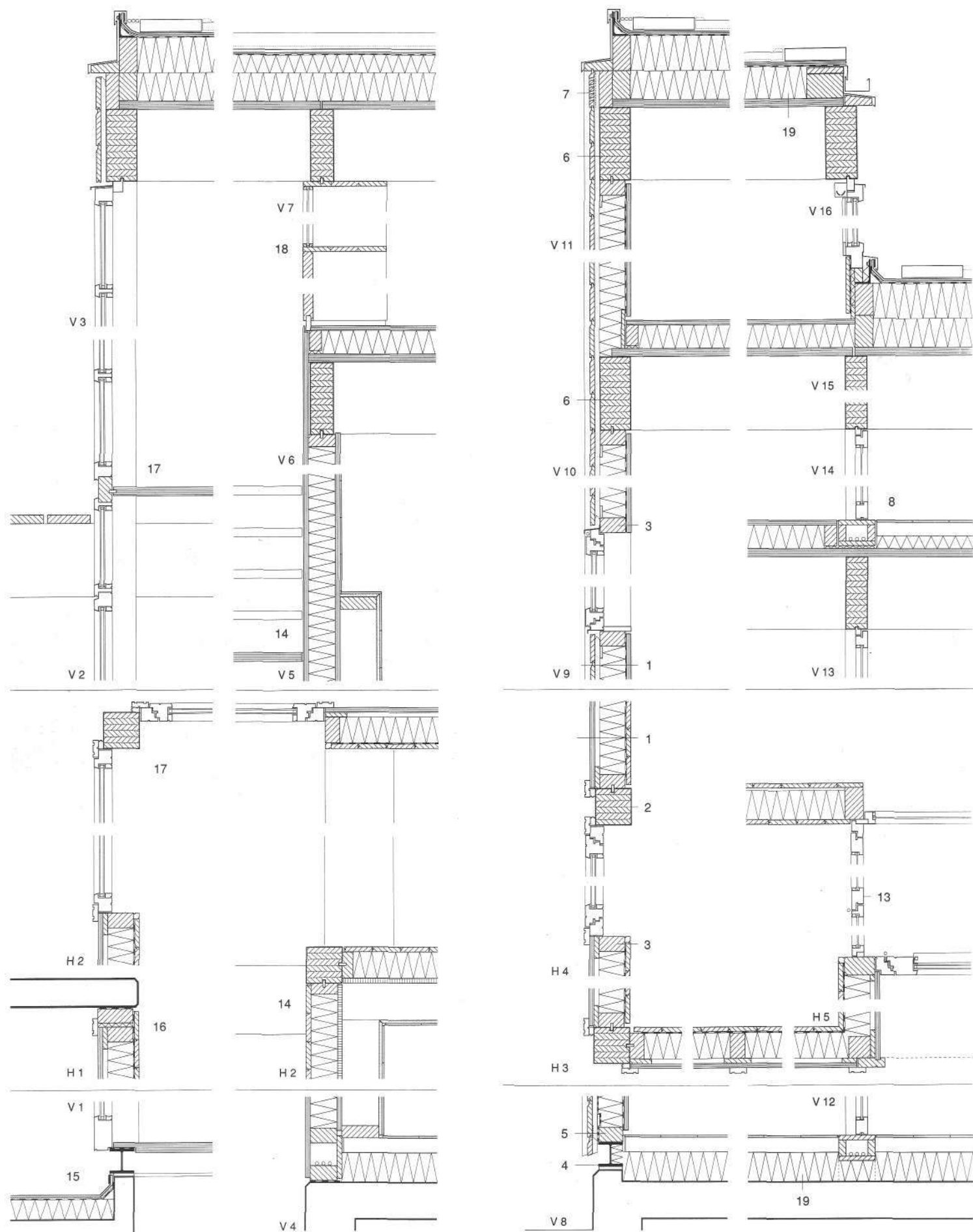
Architetto: Thomas Herzog, Monaco

- Reticolo: 90 cm
- Modulo: 15 cm
- Giardino d'inverno integrato nel corpo della costruzione

1 Parete esterna: 150 mm
Pannelli pressati piani 20, sfogliato di larice
Isolamento termico 80
Intercapedine 30
Rivestimento di legno 20, con scanalatura e linguetta, douglasia
2 Montante 150/150, lamellare
3 Pilastro 35/135, elemento di giunzione con traccia per cavi elettrici
4 Pilastro 45/135
5 Pilastro 70/135
6 Trave principale 2 x 70/300, lamellare
7 Trave di estremità 70/300, lamellare
8 Trave del tetto 2 x 70/400, lamellare
9 Copertura del tetto: lamiera su compensato, fissaggio con profilo di serraggio
10 Passerella: lamiera striata zincata
11 Vetro di sicurezza a una lastra
12 Porta scorrevole
13 Angolo giardino invernale, a vetrata semplice
14 Doppia porta, alette di ventilazione esterne con lamelle di legno oblique

6
4
10
8
9
5
13
12
13
12
11
1
14
H 2
H 3
H 4
2
H 1

39 • Centro residenziale

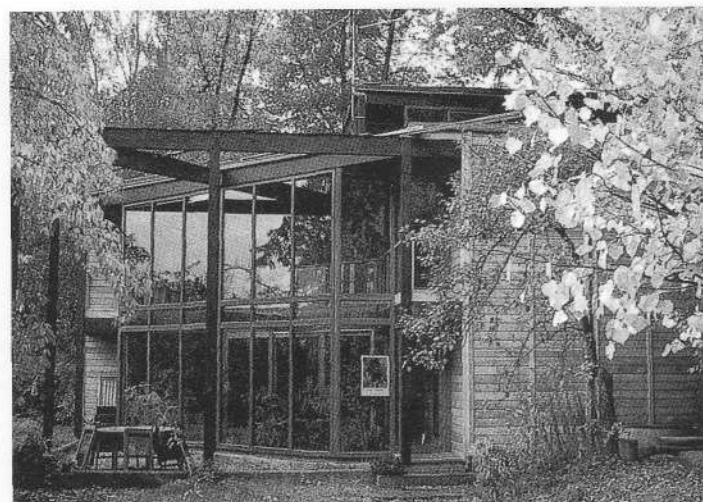
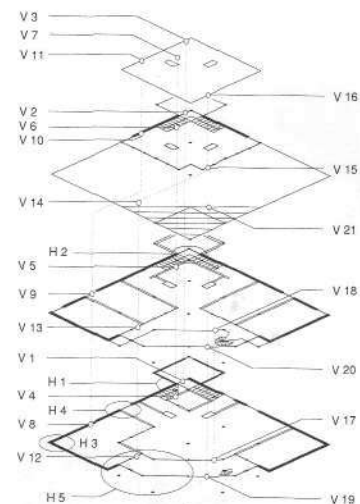
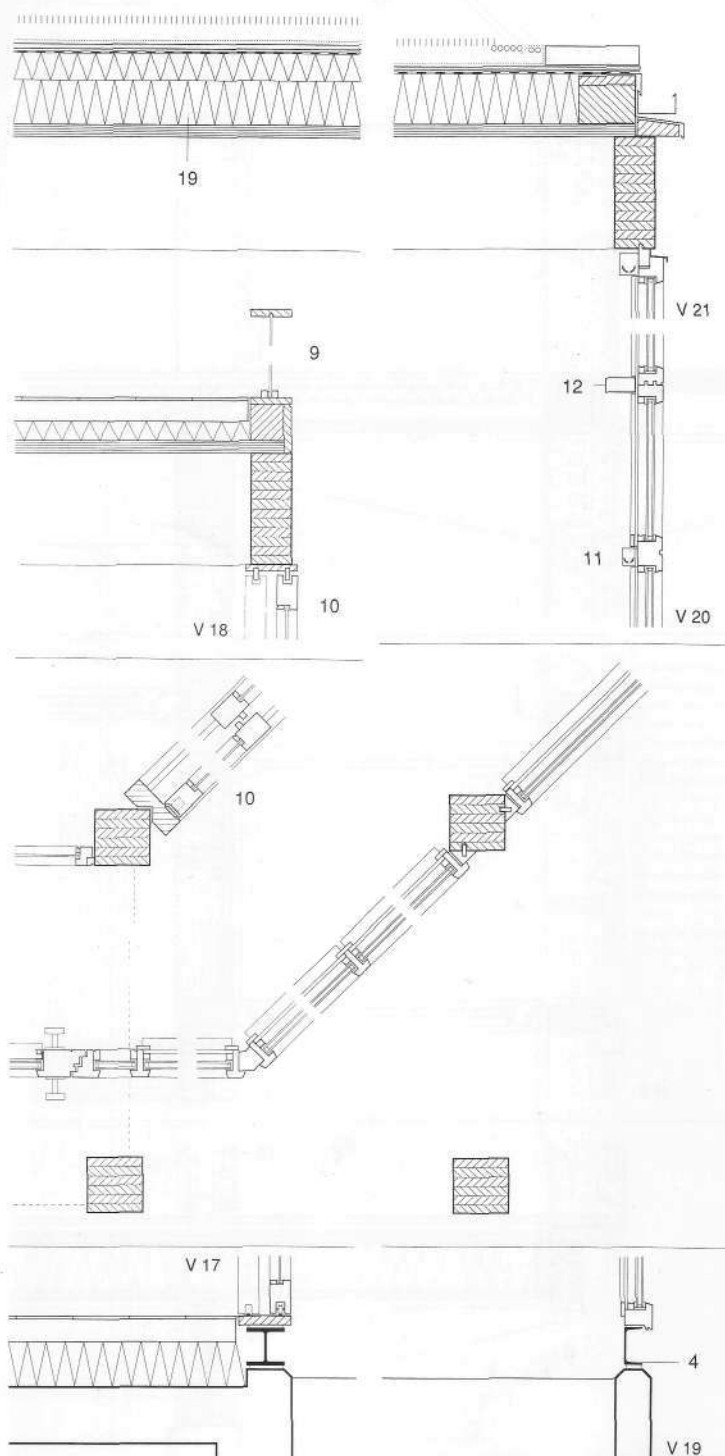
Monaco, Germania; 1982

Architetti: Thomas Herzog,
Bernhard Schilling, Monaco

Collaborazione: E. Boeck,
D. Hegger-Luhnen, R. Tobey, M. Volz

- Reticolo: 75 cm in direzione est-ovest
  90 e 45 cm in direzione nord-sud
  45 cm in altezza
- Orientamento del tetto di vetro verso sud
- Travi reticolari a = 300 cm
- Modulo: 15 cm
- Concetto di energia con graduazione di temperatura secondo il principio "casa nella casa"
- Protezione dal surriscaldamento tramite impianto di ombreggiamento e grandi sezioni di ventilazione, che possono venire regolate con alette di vetro

1 Parete esterna: 169 mm
  Compensato di faggio 18
  Barriera al vapore
  Isolamento termico 100
  Intercapedine 32
  Tavolato di legno 19, douglasia
2 IPB100
3 U 100
4 Vetrata ESG (vetro di sicurezza temprato)
5 Vetrata doppia con lastra stratificata interna
6 Vetro a retino
7 Lamelle di vetro
8 Lamelle di legno
9 Persiane a bilico per ventilazione
10 Profili di alluminio
11 Travi reticolari, lamellare
12 Trave 90/300, lamellare
13 Trave 130/300, lamellare
14 Montanti 150/150, lamellare

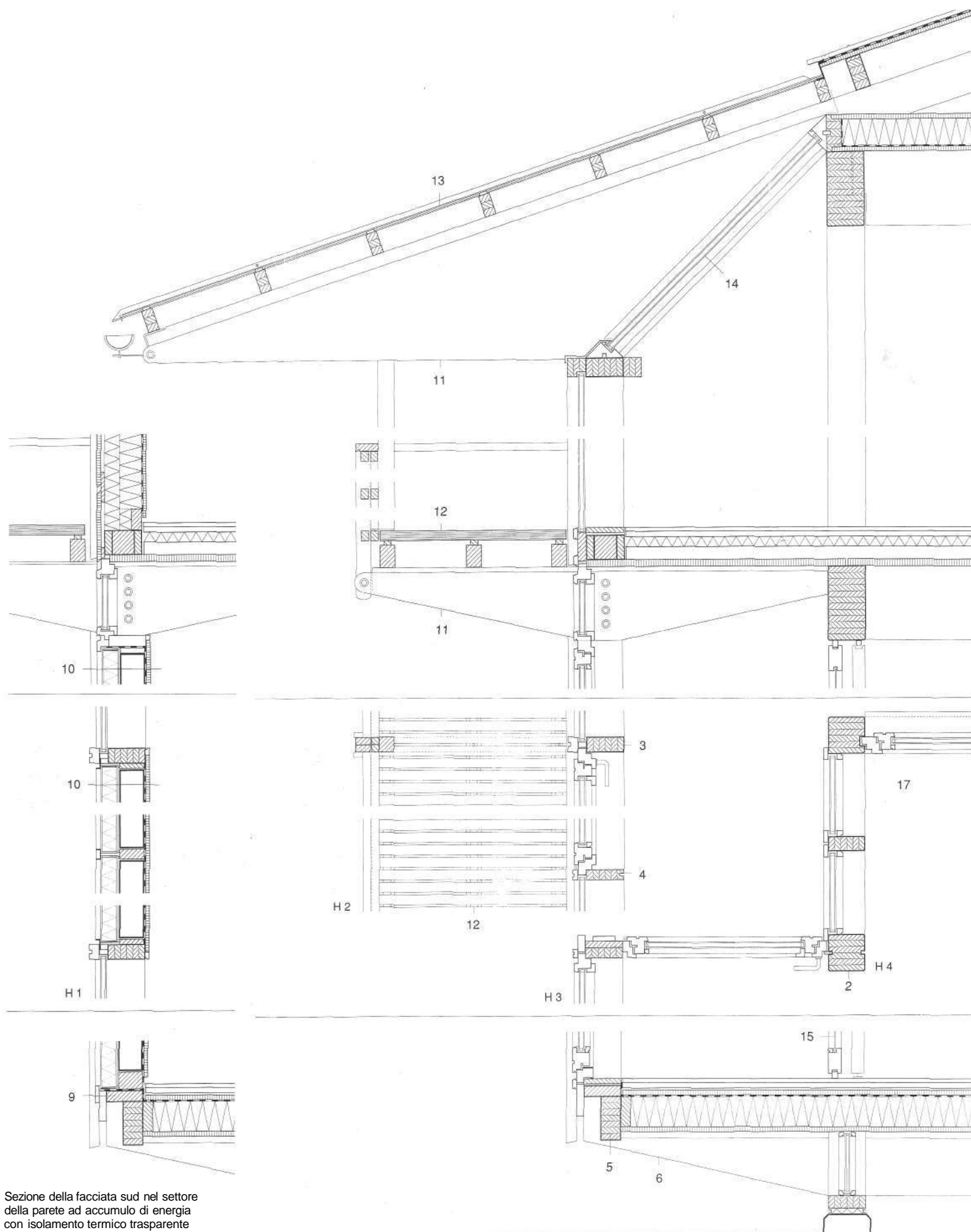
7
6
19
V 7
V 16
18
V 11
V 3
V 15
6
17
V 6
V 10
V 14
8
3
14
1
V 2
V 5
V 9
V 13
17
1
2
13
3
H 2
H 4
14
H 5
16
H 1
H 2
H 3
V 1
V 12
5
15
4
19
V 4
V 8

40 • Casa di abitazione

Waldmohr, Germania; 1984

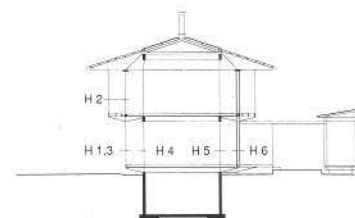
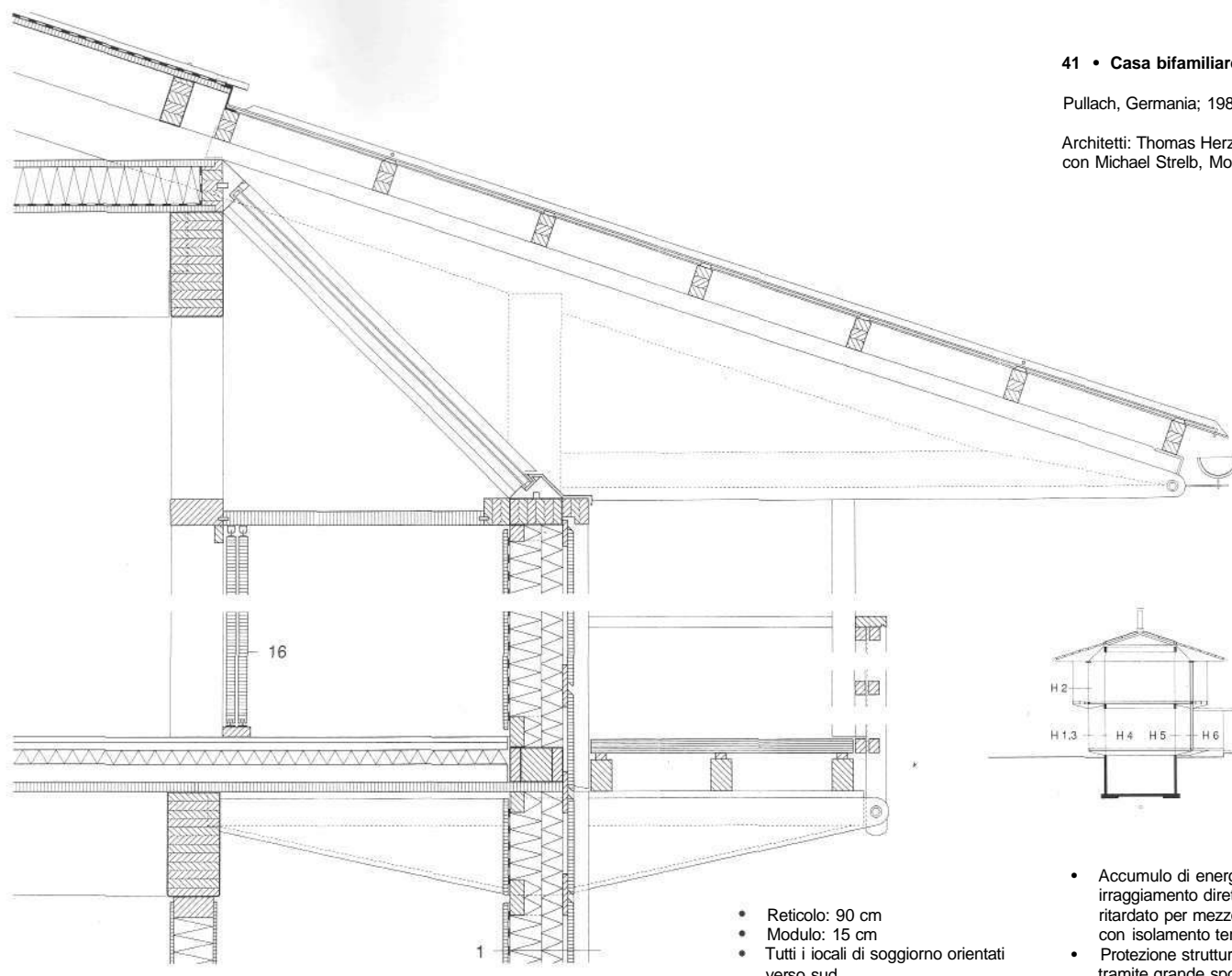
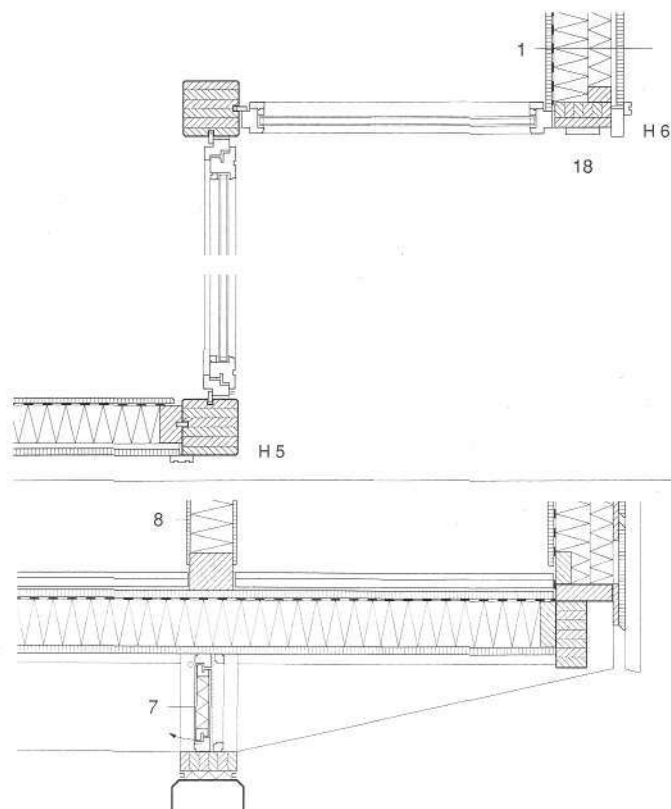
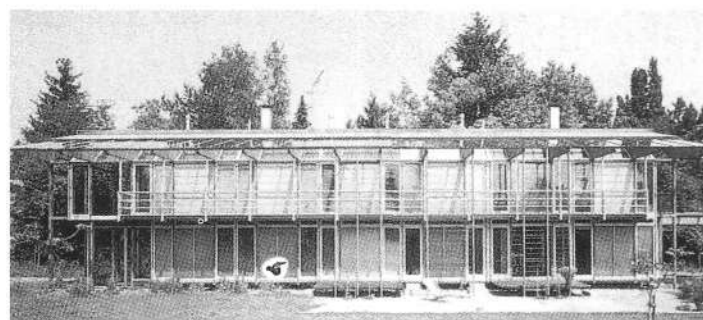
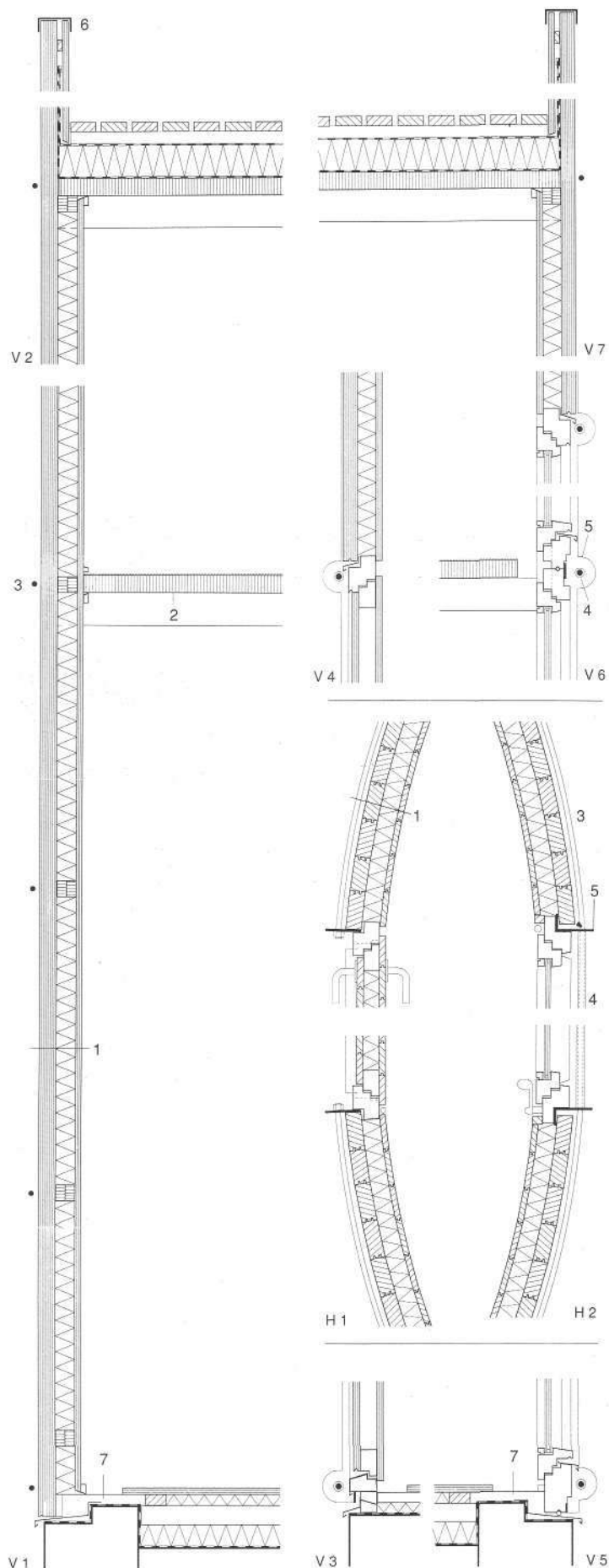
Architetti: Thomas Herzog, Michael Volz, Monaco

- Reticolo: 105 cm
- Modulo: 15 cm
- Pianta quadrata con orientamento a sud delle diagonali
- Grande vetrata verso sud con giardino d'inverno
- Facciata chiusa e isolata verso nord-ovest e nord-est
- Graduazione di temperatura in pianta - i locali più caldi vengono tamponati da locali a temperatura più bassa

1 Parete esterna: ventilata, 169 mm
Rivestimento, larice 19/150, verticale con scanalatura e linguetta
Barriera al vapore
Isolamento 110
Ventilazione, listellatura 20, verticale
Tavolato, larice 19/150
Listello di copertura 24/70
2 Montante 150/150, lamellare
3 Pilastro e traverso 75/110
4 Soglia IPB 100, U 100
5 Traversina 90/110
6 Trave di facciata 130/300, lamellare
7 Asole per ventilazione
8 Porta interna a vetri e canale per installazioni
9 Parapetto della galleria
10 Porta scorrevole verso il giardino d'inverno
11 Vetrocamera, avvolgibile interno
12 Rinforzo
13 Parete interna vetrata
14 Scala, parete interna, zoccolo per installazioni
15 Soletta sopra alla dispensa
16 Collegamento con dispensa
17 Pianerottolo scala e balcone
18 Parete a scaffali
19 Lana di vetro

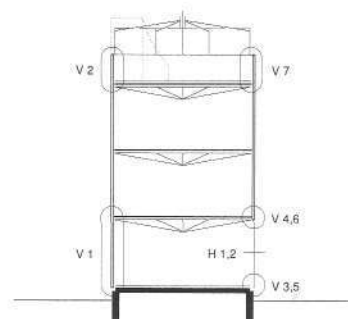
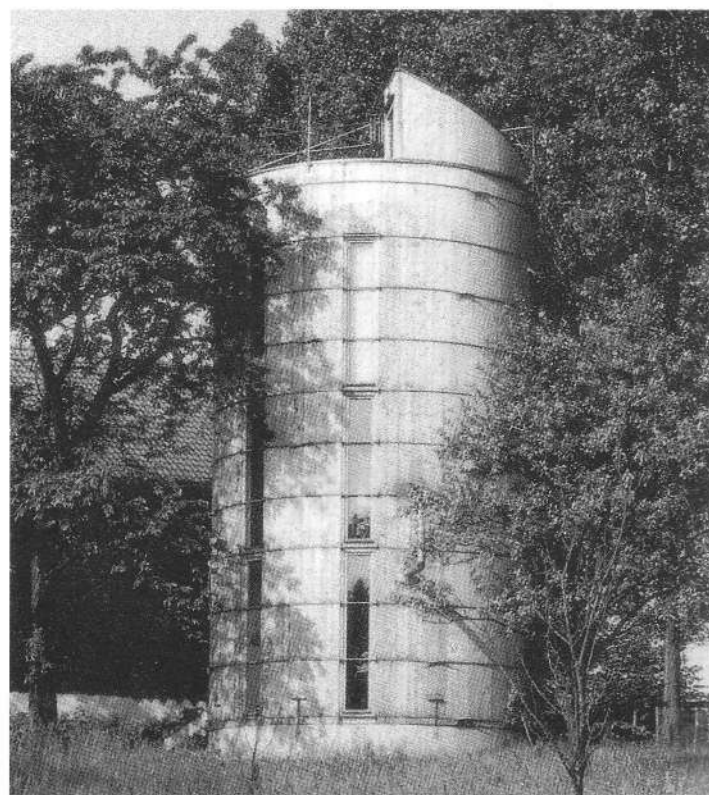
19
9
V 21
12
11
10
V 18
V 20
10
V 17
4
V 19

Sezione della facciata sud nel settore della parete ad accumulo di energia con isolamento termico trasparente

41 • Casa bifamiliare

Pullach, Germania; 1989

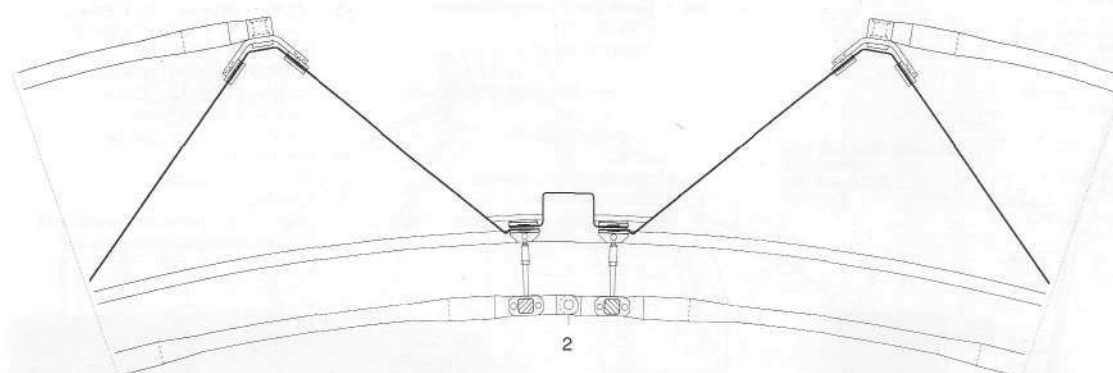
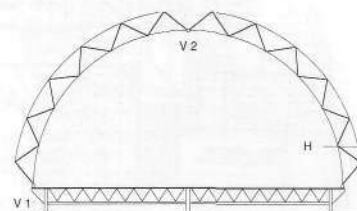
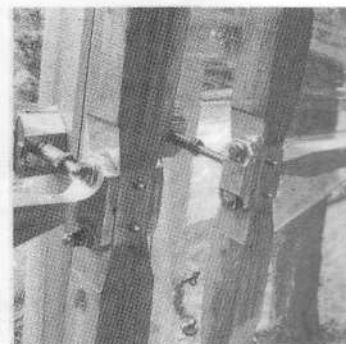
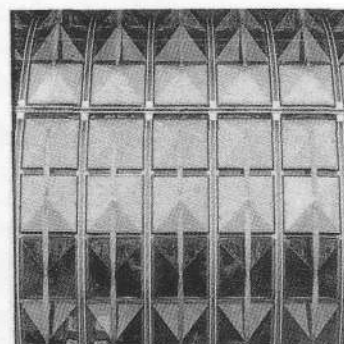
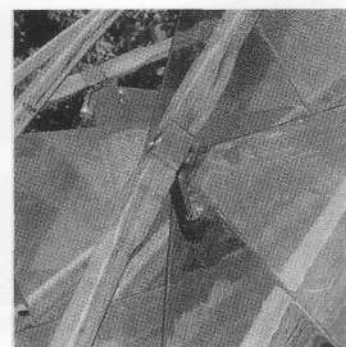
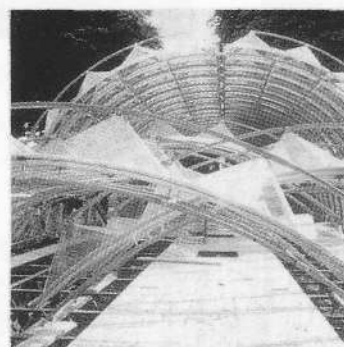
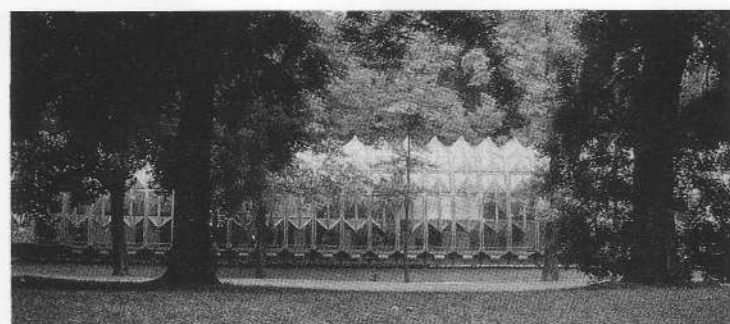
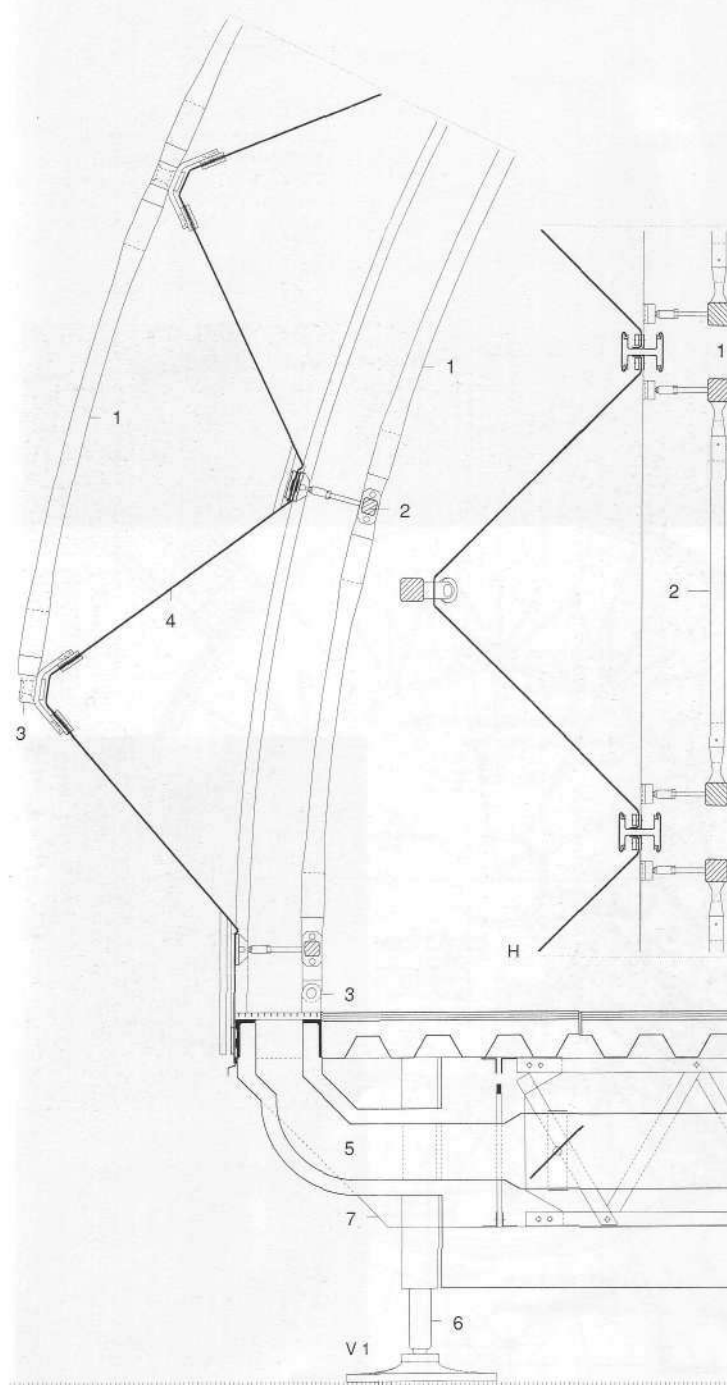
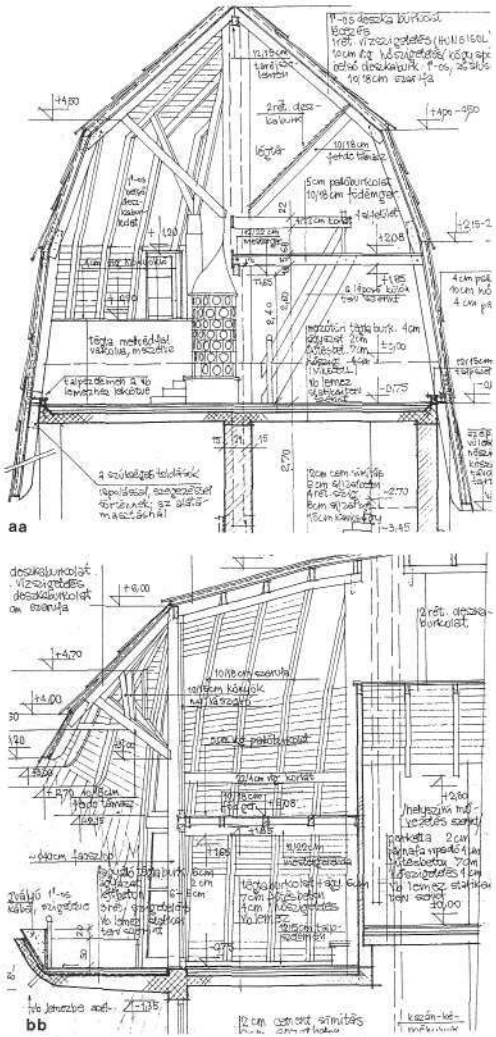
Architetti: Thomas Herzog, Michael Volz con Michael Strelb, Monaco

- Reticolo: 90 cm
- Modulo: 15 cm
- Tutti i locali di soggiorno orientati verso sud
- Accumulo di energia solare mediante irraggiamento diretto e a effetto ritardato per mezzo di pareti con isolamento termico trasparente
- Protezione strutturale del legno tramite grande sporgenza del tetto

1 Parete esterna: 200 mm
Pannello di particelle legate con cemento 18
Barriera al vapore
Isolamento termico 150
Cornici 14/120 con tavolato esterno incollato
Pannello di truciolato legato con cemento 18/290, larghezza copertura 300, con vernice acrilica grigia
2 Montante interno 150/150, lamellare
3 Montante esterno 60/150, lamellare
4 Montante 40/150, lamellare
5 Trave di cordolo 60/180, lamellare
6 Trave 100/400, lamellare
7 Alette di ventilazione con zanzariera
8 Parete interna
9 Traversina 50/150
10 Parete ad accumulo di energia
Pannello pressato piano legato con cemento 18
Barriera al vapore con foglio di polietilene
Elementi finiti di cemento 100, verniciati di nero esternamente
Elemento isolante termico trasparente. vetro chiaro, vetro policarbonato capillare con struttura orizzontale lineare
11 Mensola, sezione composta
12 Graticcio di legno 40/40
Parapetto con tamponamento in griglia di acciaio legato
13 Vetrata del tetto, ESG (vetro di sicurezza temprato)
14 Vetrata isolamento, VSG (vetro di sicurezza stratificato) interno
15 Porte scorrevoli a vetri
16 Porte scorrevoli, armadio a **muro**
17 Angolo giardino d'inverno a sud-ovest
18 Angolo edificio a nord-est

42 • Silo trasformato in abitazione

Lukasòd, Germania; 1988

Architetto: Eberhard Stauß, Monaco
Collaborazione: A. Leibelt

- Trasformazione della costruzione di un silo standard per mangime
- Assorbimento delle spinte nella zona delle aperture per mezzo di cornici in angolari di acciaio e tubi compressi
- Sistema di costruzione destinato ad appartamenti, uffici, locali per il tempo libero
- Modello di utilizzazione registrato

1 Parete esterna: 168 mm
Rivestimento 18, con scanalatura e linguetta
Isolamento 100
Rivestimento per silo 50, a doppia perlinatura
2 Compensato
3 Tirante in acciaio d = 16
4 Tubo teso
5 Cornice in angolare di acciaio
6 Profilo a U 115/55/4
7 Pavimento

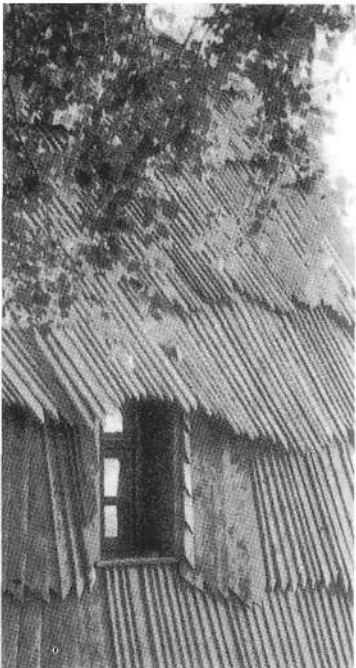
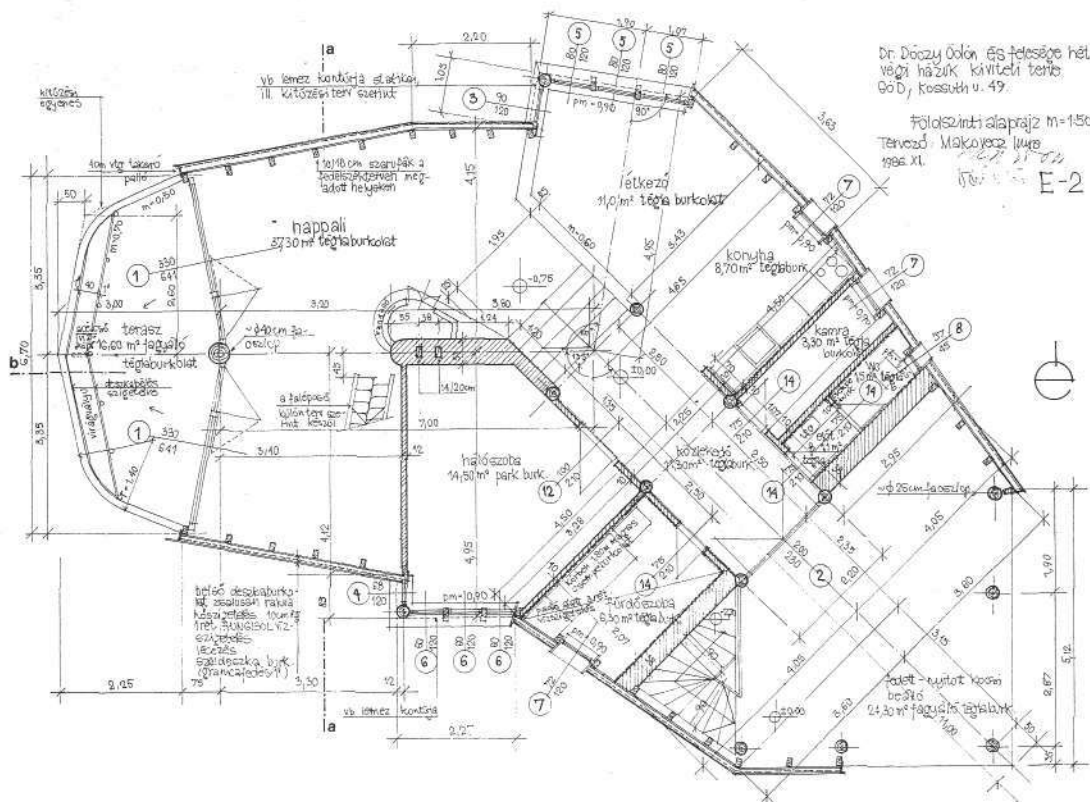
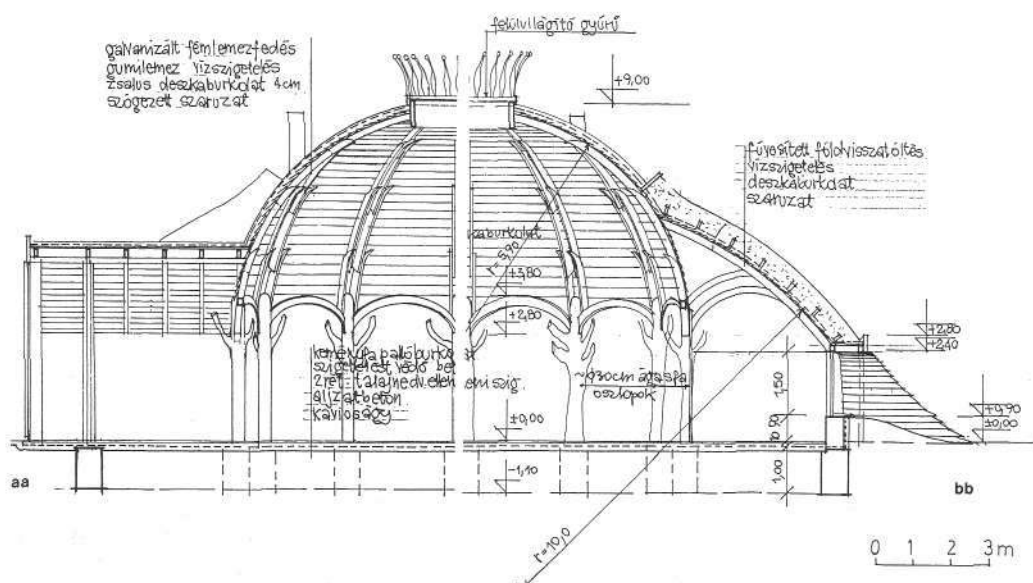
43 • Padiglione itinerante IBM

1983-86

Architetto: Renzo Piano,
Building Workshop, Genova

Sistema di costruzione
- smontabile e rimontabile
- integrazione dell'involucro nella struttura portante: archi a tre correnti e tre cerniere (cupole in materiale sintetico svolgono l'irrigidimento e assorbono le tensioni d'asta dell'arco)

1 Corrente superiore e corrente inferiore 6/6, incollati
2 Traverso modulare 4/4, incollato
3 Elementi in getto di alluminio, incollati con il legno
4 Piramide in poiicarbonato (protezione dal sole per mezzo di lamiere di alluminio perforate, montabili internamente)
5 Condotto d'aerazione
6 Montante regolabile in altezza
7 Controvento

44 • Casa per il fine settimana

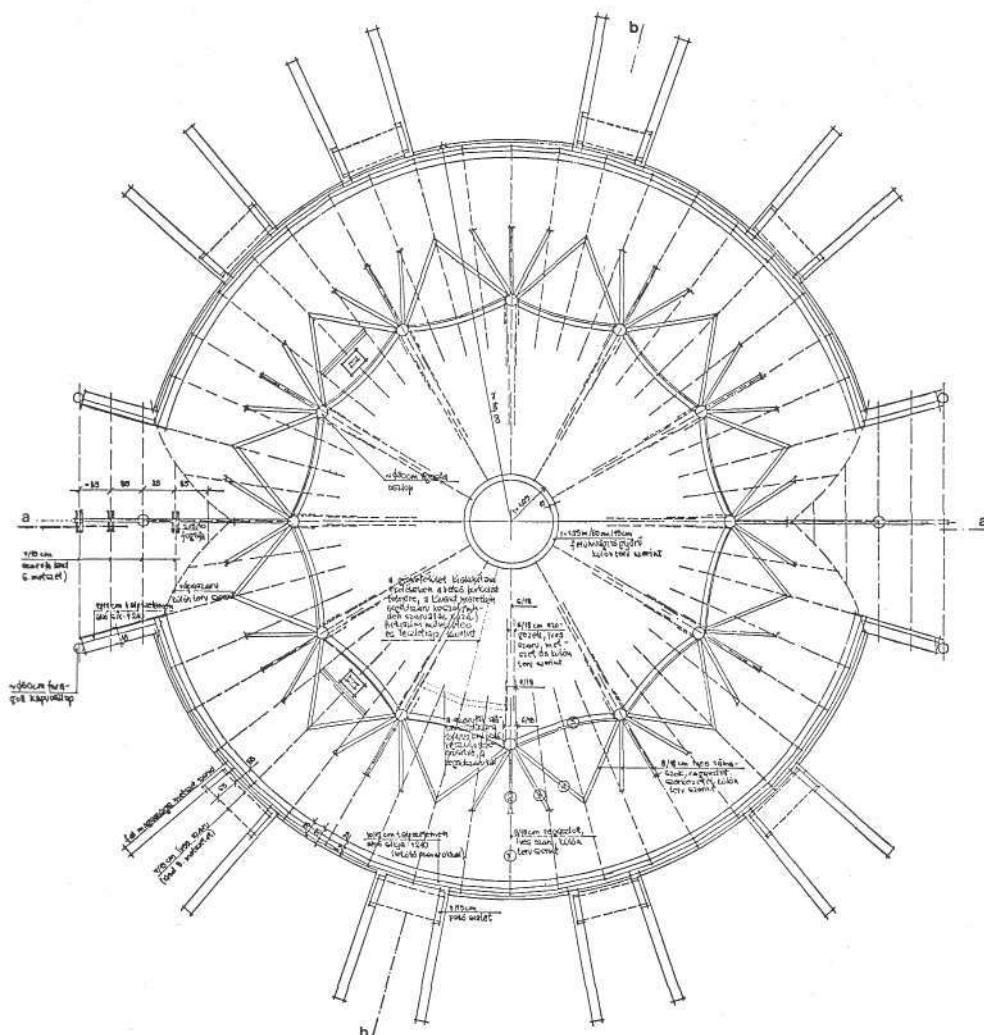
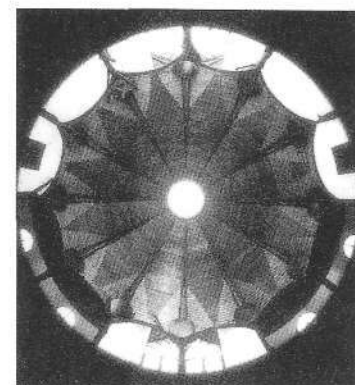
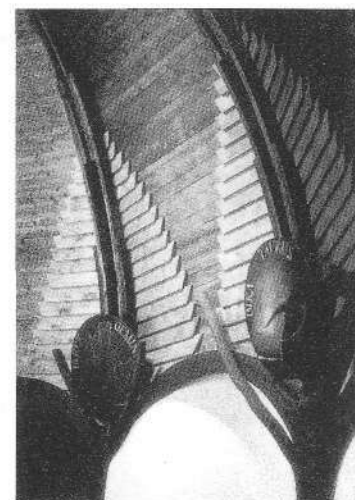
Göd, Ungheria; 1986

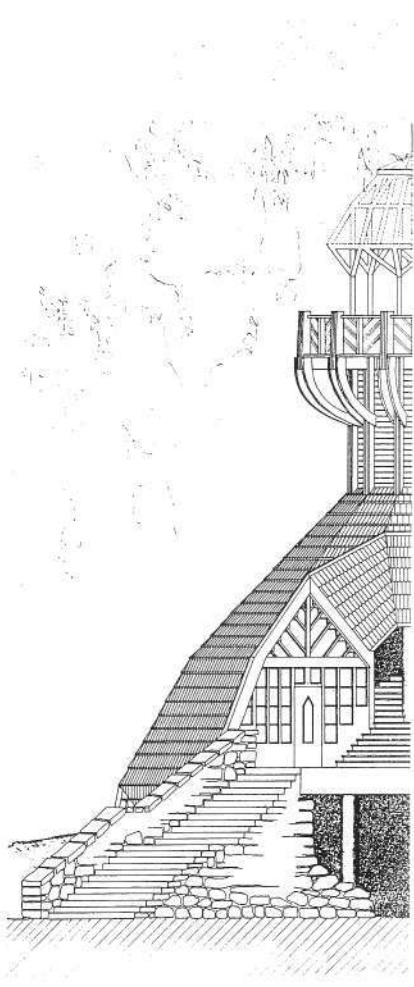
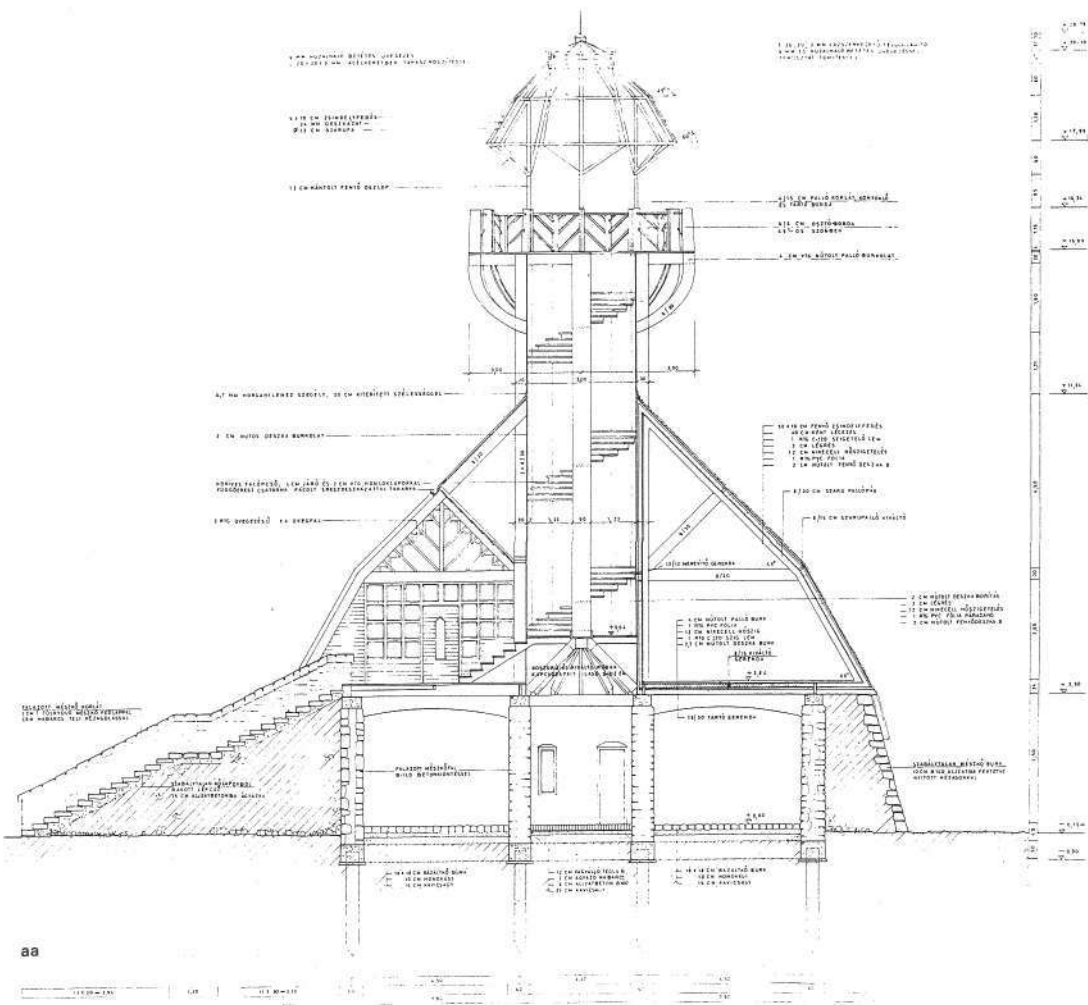
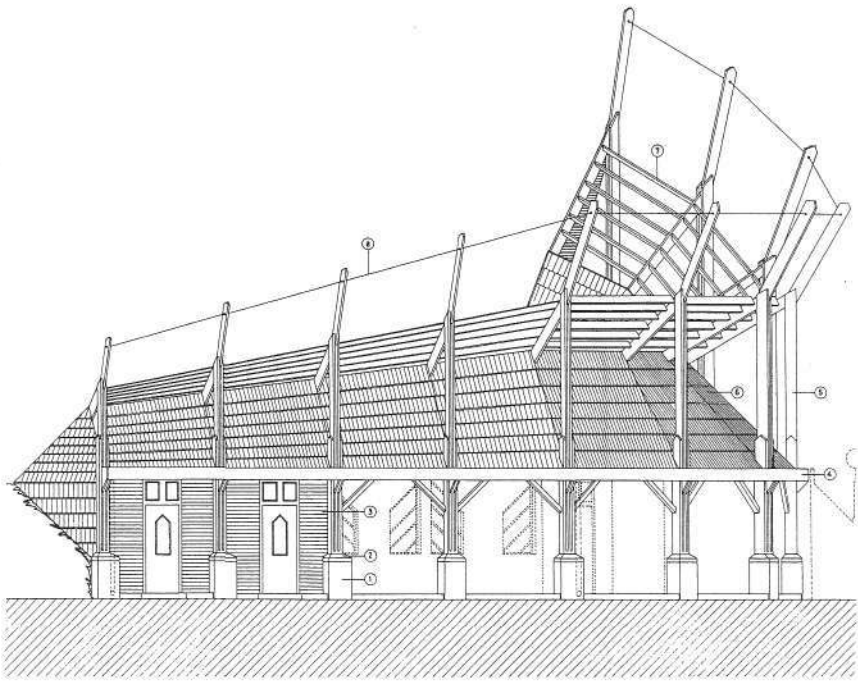
Architetto: Imre Makovecz, Budapest

- Costruzione portante: quercia
- Montanti: tronchi, quercia
- Copertura del tetto: Copertura di legno "Granica" in resti di tavole riciclate con lunghezze diverse
- Struttura della facciata chiusa: rivestimento in legno "Granica" Listellatura Isolamento contro l'umidità Isolamento termico 10 cm Tavolato in abete rosso Travetto 10/18 cm quercia
- Basamento: muratura di mattoni
- Finestre: abete rosso, verniciato, doppi vetri

45 • Centro culturale

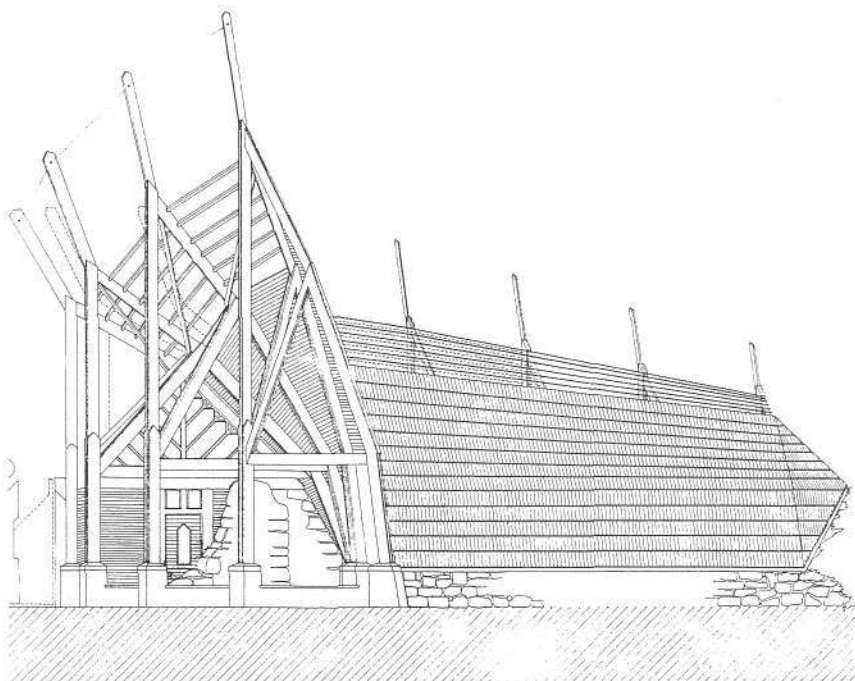
Visegrad, Ungheria; 1986

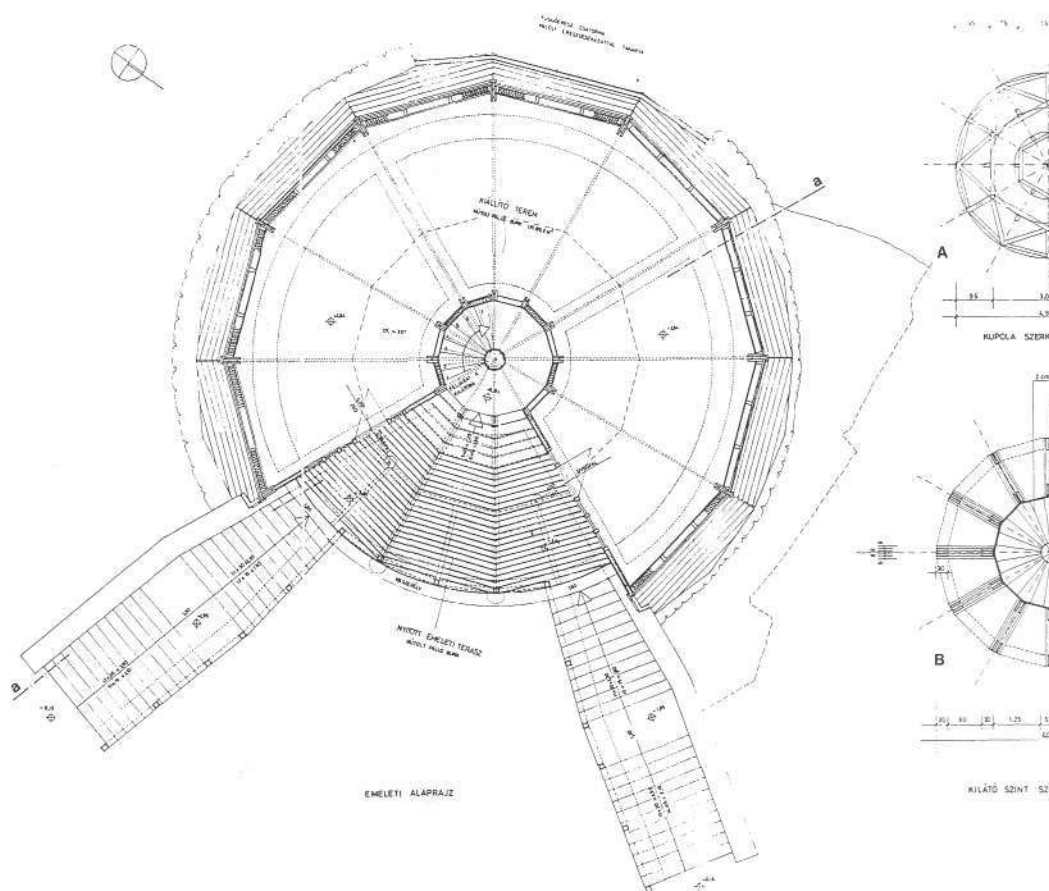
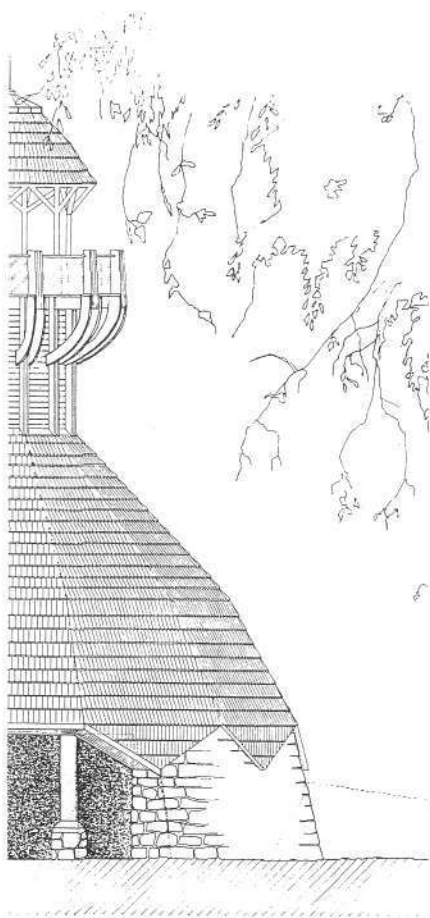
Architetto: Imre Makovecz, Budapest

- Costruzione portante: legno di quercia
- Montanti: tronchi 0 30 cm circa
  I battenti del portone ricordano le ali dell'aquila
- Illuminazione naturale: tramite lucernario r = 129/60/15 cm
  e per mezzo di aperture a finestra simili ad abbaini

- Struttura del tetto: lastre di metallo galvanizzato
  Isolamento contro l'umidità
  Isolamento termico
  Tavolato con risvolto interno, abete rosso
  Travetto
- Struttura di facciata chiusa e tetto:
  Terriccio con vegetazione
  Isolamento contro l'umidità
  Tavolato con risvolto
- Finestre:
  Legno di abete rosso
  Doppi vetri

aa

46 • Edificio amministrativo, torre panoramica e museo

Parco nazionale Bük presso Miskolc, Ungheria; 1985

Architetto: Benö Taba, Miskolc

- Costruzione portante: legno di abete rosso
- Struttura del tetto:
  Scandole in legno di abete rosso 50/1 Ocm
  Listellatura
  Foglio monostrato
  Intercapedine 3 cm
  Isolamento termico 12 cm
  Un foglio di PVC
  Tavole di abete rosso 2 cm
- Struttura della parete della torre:
  Copertura in legno 2 cm
  Intercapedine 3 cm
  Isolamento termico 12 cm
  Foglio di PVC monostrato
  Tavole di abete rosso
- Basamento:
  Muratura in pietra calcarea con nucleo di calcestruzzo

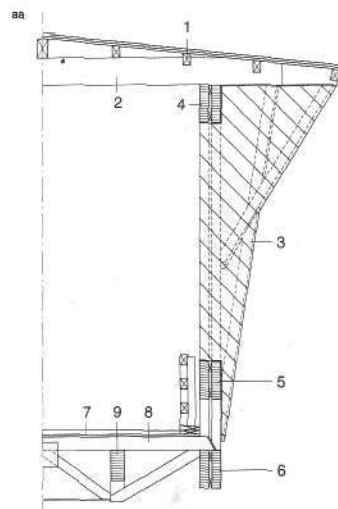
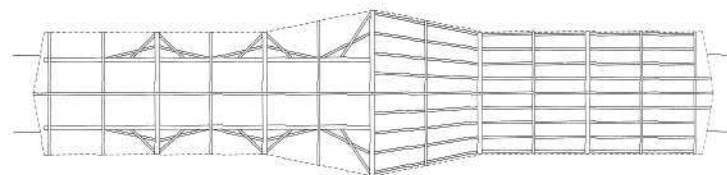
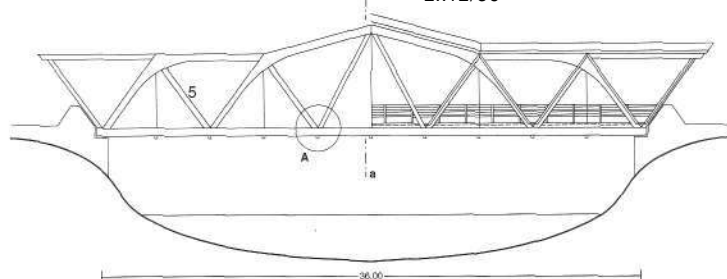
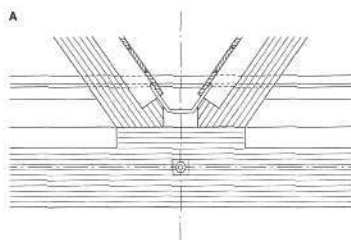
A Schema costruttivo della cupola
B Schema costruttivo del piano panoramico

Parte 6

Nuovi esempi di strutture portanti e facciate

134 • Ponte per veicoli pesanti

Ravine, Svizzera; 1989

Ingegneri strutturisti:
P. Buchs & J.-L. Plumey, Porrentruy
Natterer Bois-Consult, Etoy

Venne richiesta una percorribilità con macchine agricole e mezzi per il trasporto di legname. Assorbimento del carico mobile: carico distribuito 2,5 kN/m^2; coppia di carico di 2 x 60 kN oppure un gruppo di carico di 6 x 60 kN. Carico di neve, 1,04 kN/m^2. Era richiesta altresì una larghezza del tetto di 8 m, così come il calcolo delle sollecitazioni da frenata e da accelerazione. Obiettivo era un numero ridotto di nodi della struttura portante e quindi un limitato impiego di connessioni. Come sistema portante principale venne quindi scelta una struttura portante a telaio. La cessione delle forze orizzontali avviene tramite telai rigidi nei punti nodali de! corrente superiore del sistema di travi principali.

1 Travetto in legno di conifere 10/16
2 Traverso del tetto in lamellare 30/36
3 Telaio trasversale in legno di conifere 14/14, rivestito diagonalmente
4 Elementi del telaio in lamellare 2 x 12/43
5 Diagonali tese in lamellare 2x12/36
6 Corrente inferiore in lamellare 2 x12/50
7 Tavole d = 33mm
8 Trave trasversale in lamellare 18/18 con rinforzo inferiore in barra di acciaio
9 Trave longitudinale in lamellare 18/40

Nel 1991, poco prima della pubblicazione della prima edizione tedesca *deW Atlante del legno,* vi erano già nuovi progetti interessanti, però non ancora conclusi, la cui documentazione avrebbe dovuto essere inserita in quel volume. Questi progetti, insieme con una scelta di altri progetti realizzati nel corso degli ultimi anni, sono presentati nelle pagine seguenti. In essi è stato sostanzialmente conservato il tipo di rappresentazione utilizzato nei capitoli precedenti. L'utilizzo delle unità di misura (mm e cm) in questa sesta parte è analogo a quello della parte 4 *(Strutture portanti)* e della parte 5 *(Facciate).* Per maggiori informazioni rimandiamo quindi all'introduzione delle parti 4 e 5.

Indice

Strutture portanti

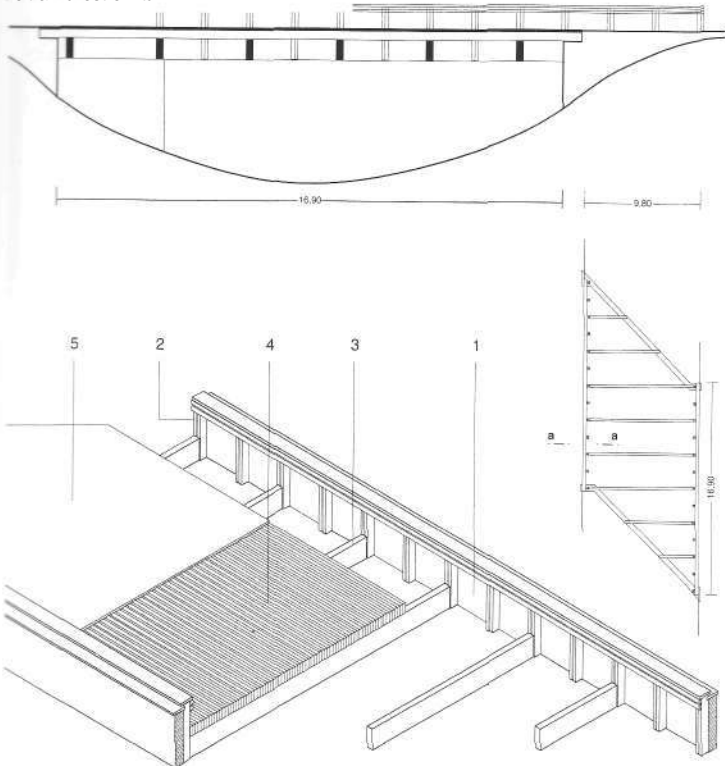
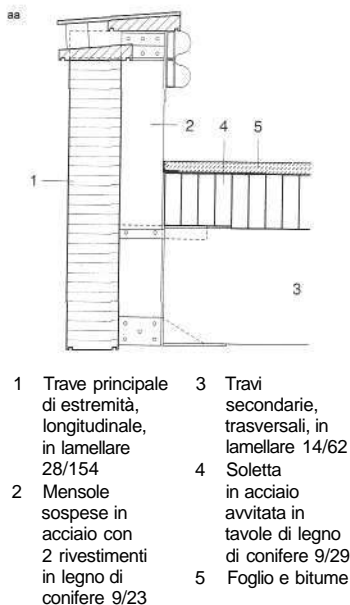
Facciate

135 • Ponte per veicoli pesanti

frango, Colorado, Stati Uniti; 1982

Ingegneri strutturisti:
Natterer Bois-Consult, Etoy;
in collaborazione con il prof. Gutkovski, **Colorado** State University, Fort Collins

Il carico del ponte per il traffico americano di mezzi pesanti corrisponde all'incirca a un **ponte** da 48 t. Il sistema portante **può venire** indicato come costruzione a graticcio inclinato. Le travi principali di estremità supportano la soletta di tavole **tesa** longitudinalmente e avvitata. (Direzione di tensione longitudinale 19 m circa) Scarico delle travi principali di estremità tramite l'impalcato di tavole teso longitudinalmente e avvitato che funge inoltre da lastra per l'assorbimento delle forze dinamiche e delle forze del vento, i carichi concentrati alle estremità, che sono molto elevati, vengono assorbiti dall''impalcato e dalle travi trasversali poste sulle travi di estremità. Le sospensioni delle travi trasversali sotto forma di telaio assorbono i carichi d'urto e stabilizzano le travi di estremità.

1 Trave principale di estremità, longitudinale, in lamellare 28/154
2 Mensole sospese in acciaio con 2 rivestimenti in legno di conifere 9/23
3 Travi secondarie, trasversali, in lamellare 14/62
4 Soletta in acciaio avvitata in tavole di legno di conifere 9/29
5 Foglio e bitume

136 • Ponte per veicoli pesanti

Le Sentier, Svizzera; 1991

Ingegnere strutturista:
Natterer Bois-Consult, Etoy

Obiettivi principali erano l'utilizzo ottimale delle materie prime di una area boschiva e l'impiego di moderne tecniche di costruzione. La struttura mista in legno e cemento è composta da otto sezioni di legno tondo lunghe 13 m (luce del ponte) (Fi), 0 48-72 cm. Per ottenere in questo modo una piastra del piano stradale delimitata parallelamente, i tronchi sono stati refilatì sui due lati e dotati di fresature di stabilizzazione. La ripartizione dei carichi di estremità avviene tramite l'armatura negli incavi del pannello composito di cemento. Connessione delle sezioni di cemento e legno con tasselli pretensionati che sono stati incollati nelle sezioni circolari di legno. Le forze frenanti vengono trasmesse agli appoggi per mezzo di fissaggi a triangolo inseriti nelle sezioni di legno tondo più grosse. Tronchi impregnati a pressione.

5 Connettore ad anello pretensionato
5a Perno filettato M 12
5b DadoM 12 (pretensiona-mento)
5c Spessore di acciaio
5d Calotta di protezione
5e Tubo di protezione
5f Resina epossidica

1 Legno tondo refilato con fresatura di stabilizzazione
2 Asse di estremità in compensato
3 Soglia dello appoggio in legno di quercia 15/30
4 Cuneo in legno di quercia
5 Connettore ad anello pretensionato
6 Perno filettato 0 16 mm
7 Malta di cemento
8 Fissaggio triangolare mod. 200
9 M 16
10 Cemento armato 10 cm
11 Bitume

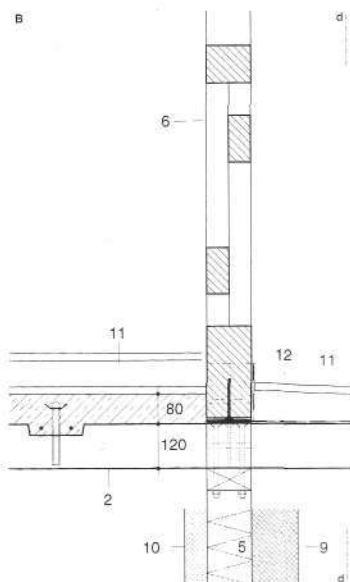
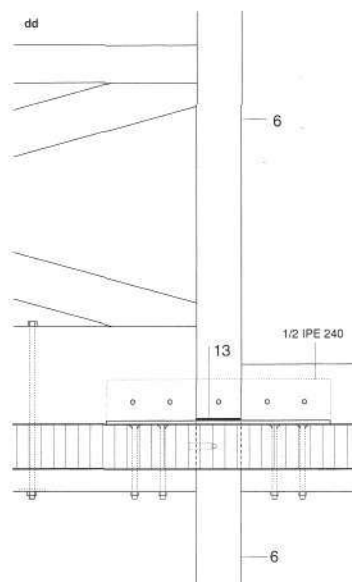
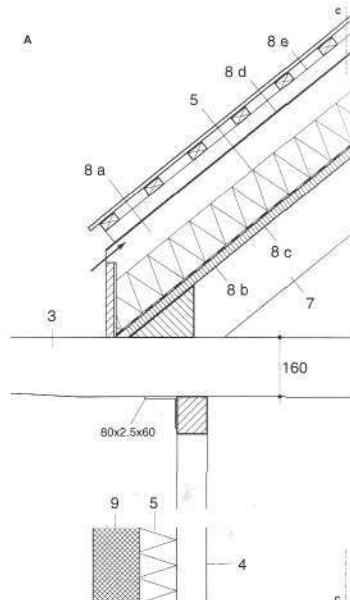
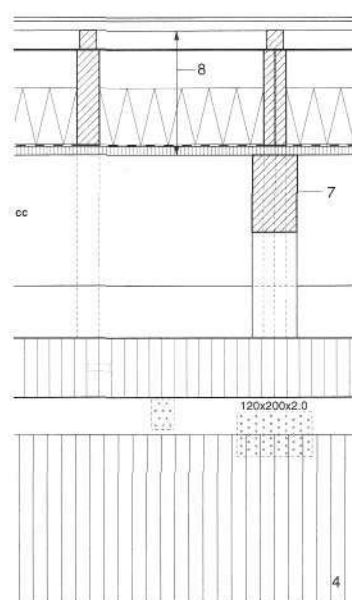
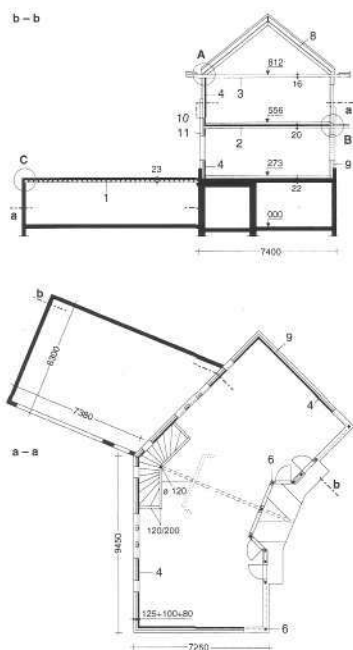
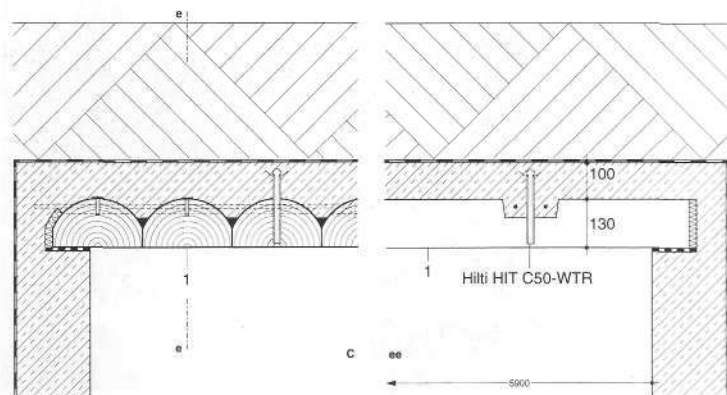
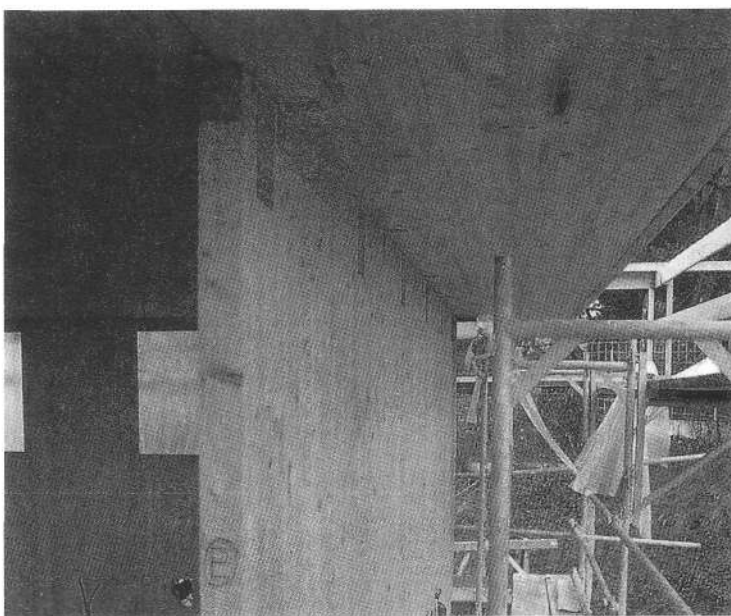
b – b
1/2 ø 240
9
3/4 ø 140
1/2 ø 140
9

137 • Casa di abitazione

Clarens, Svizzera; 1992

Architetto: Gilles Bellmann, Clarens

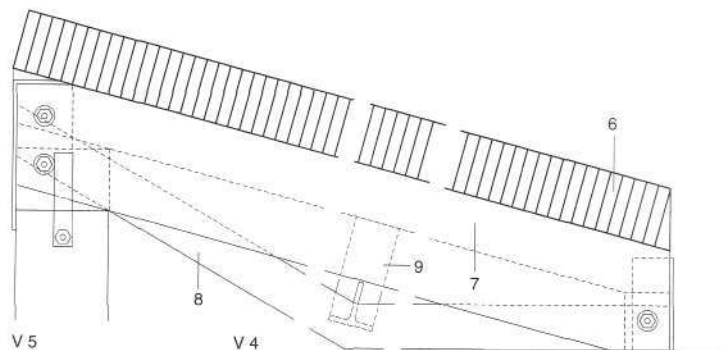
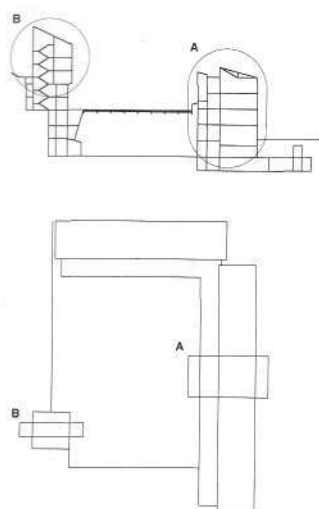
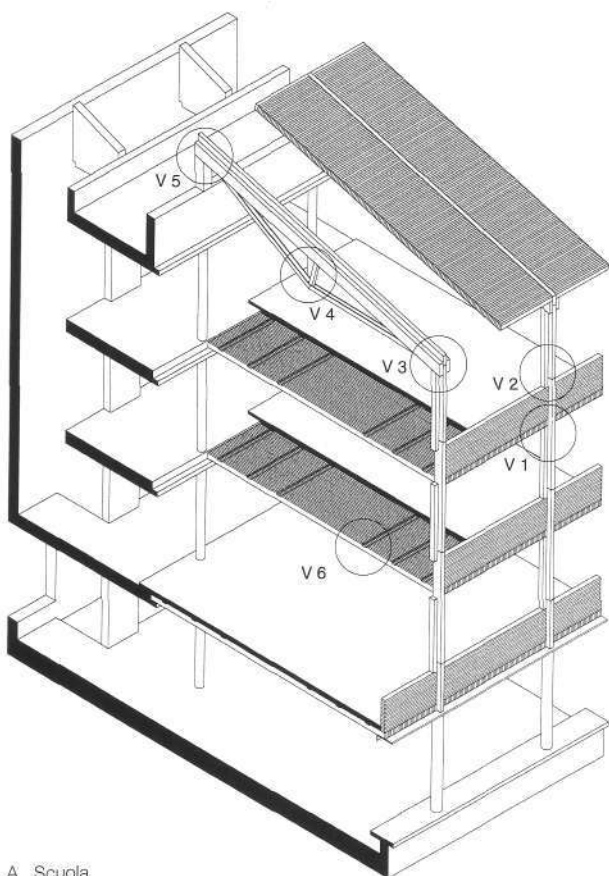
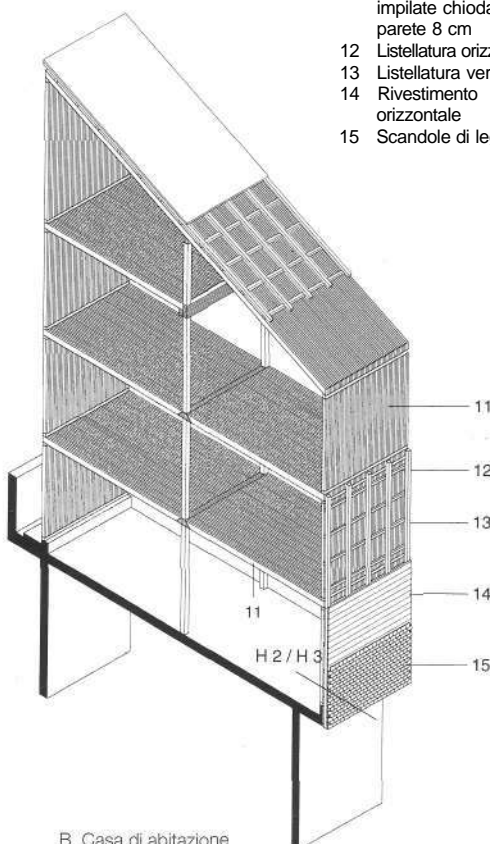
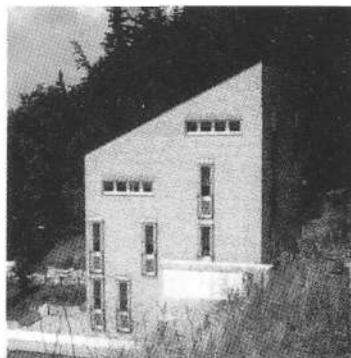
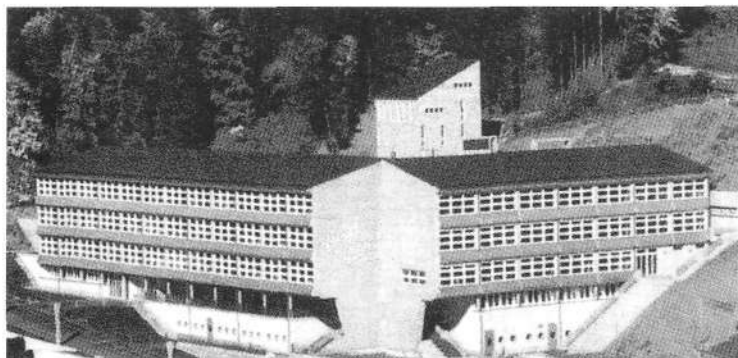
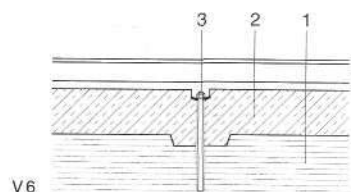
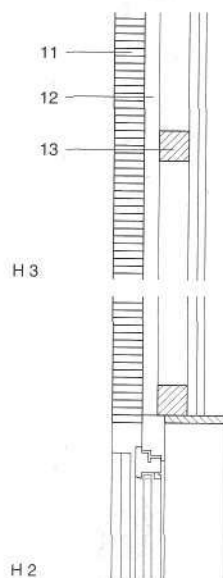
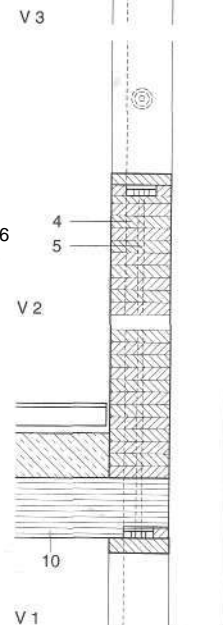
Ingegneri strutturisti:
Natterer Bois-Consult, Etoy

Obiettivo principale della progettazione di questa casa era l'utilizzazione flessibile della pianta. A tale scopo la costruzione della soletta è stata tesa sull'intera profondità della casa, 7,25 m. Per motivi di costo per la soletta del garage sono stati utilizzati elementi di legno semicircolari, per le pareti elementi chiodati formati da assi impilate (larghezza laterale 8 cm), per la facciata sud e per il tetto legno squadrato, per il solaio a vista a! piano terra una soletta a struttura mista di legno e cemento con sezioni piane in lamellare e al piano superiore una soletta in lamellare. Tramite la selezione della costruzione di tetto e solette si sono ottenuti spessori di costruzione molto ridotti. Questo ha portato all'aumento del volume spaziale utilizzabile. La struttura mista legno-cemento è stata realizzata con tasselli incollati e ritensionabili. L'approntamento delle travi piane in lamellare larghe 1,2 m, per le solette e delle pareti prefabbricate in elementi più grandi ha consentito un tempo di montaggio che è stato di una sola settimana.

1 Soletta mista in legno e cemento con legno a sezione semicircolare
2 Soletta mista in legno e cemento con lamellare
3 Soietta in lamellare
4 Parete ad assi impilate chiodate visibile dall'interno
5 Isolamento termico
6 Montante 12/12
7 Trave del tetto 12/16
8 Elemento del tetto prefabbricato
8a Travetto 6/20
8b Rivestimento 18
8c Barriera contro il vapore
8d Materiale a base di legno
8e Controlistellatura e listellatura
9 Mattone TC 125
10 Pannellatura
11 Malta di cemento
12 Piastrelle
13 Appoggio elastomerico

138 • Scuola e casa di abitazione

Triesenberg, Liechtenstein; 1994

Architetto: H. Ospelt, Triesen
con Marcus Freund

Ingegnere strutturista:
Natterer Bois-Consult, Etoy

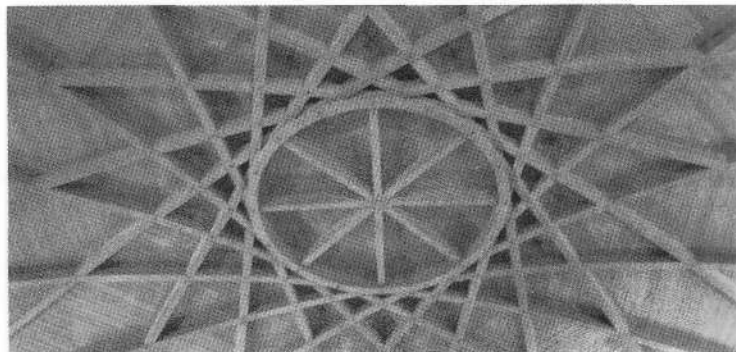
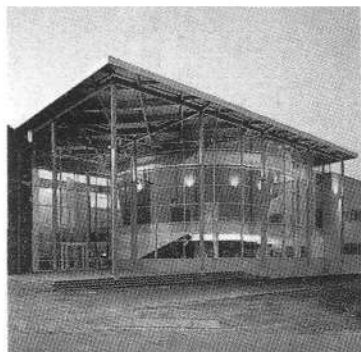
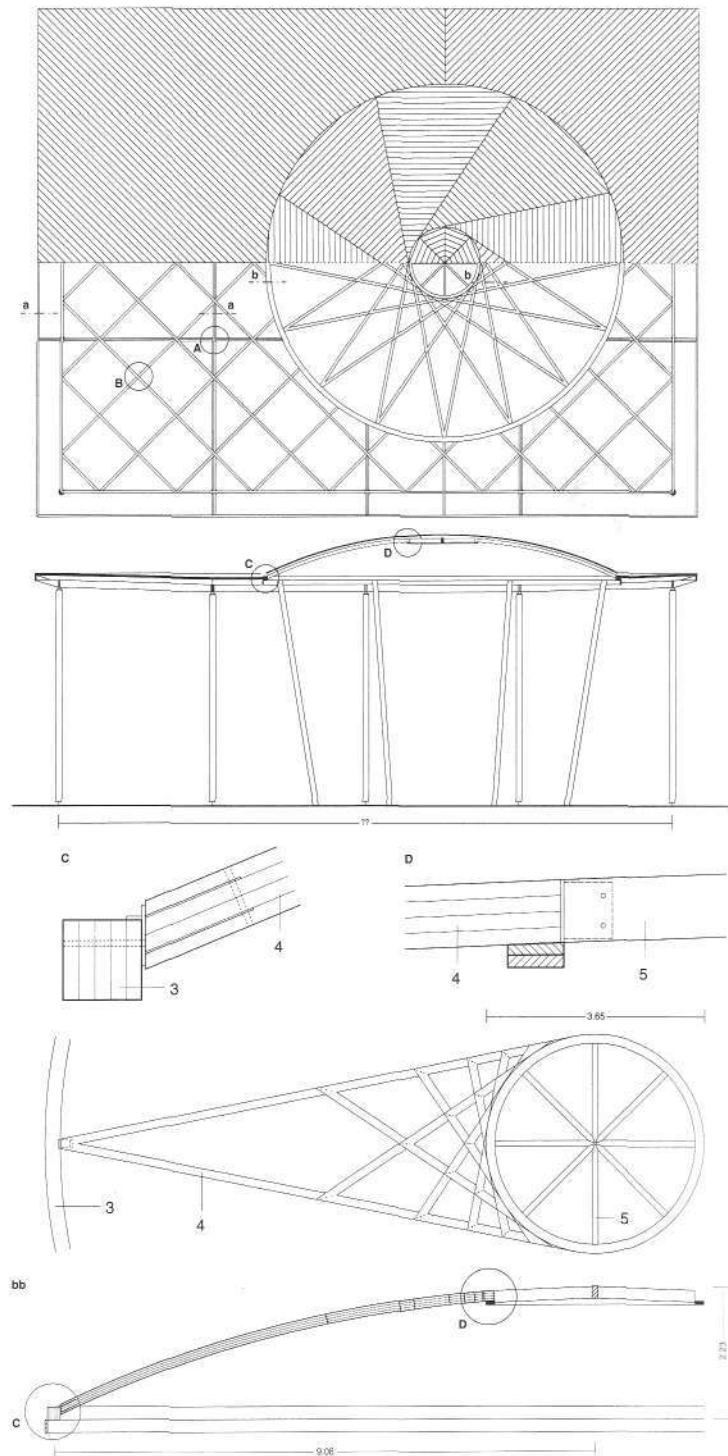
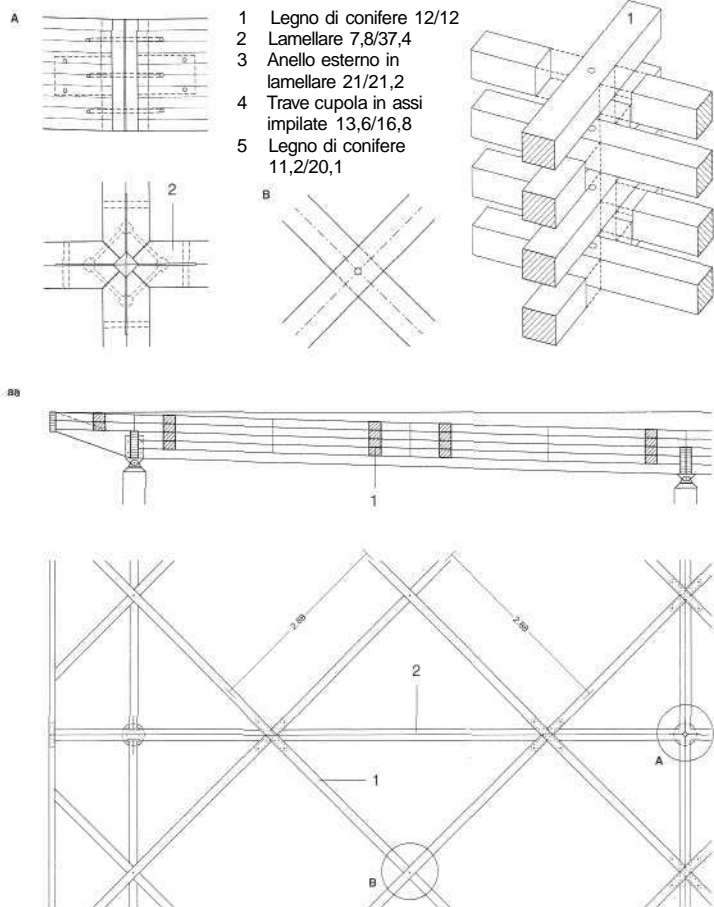
Le solette dell'ala per le aule sono tutte in struttura mista legno-cemento con assi impilate. Nel piano delle facciate un rivestimento in lamellare trasmette i carichi dalle solette ai montanti, li tetto del tratto aule e le solette, pareti e il tetto della casa di abitazione sono state costruite con assi impilate. Una particolarità è rappresentata dai rivestimenti simili alla soletta in lamellare di faggio con appoggi obliqui nella casa di abitazione, con i quali è stato possibile trasmettere ai montanti le tensioni dalle solette direttamente e senza ulteriore mezzo ausiliario.

1 Pannello di assi impilate chiodato, soietta 16 cm
2 Cemento 12 cm
3 Connettore speciale Hilti-Hit, d = 12
4 Rivestimento, lamellare 16/80
5 Sospensione M 24
6 Pannello di assi chiodate, tetto 16 cm
7 Trave del tetto in legno di conifere 3 x 12/30
8 Tirante in acciaio 2 x 10/120 mm
9 Asta tesa in legno di conifere 12/12
10 Pannello di assi Impilate chiodate, soletta 16 cm
11 Pannello di assi impilate chiodate, parete 8 cm
12 Listellatura orizzontale 4/6
13 Listellatura verticale 8/8
14 Rivestimento orizzontale
15 Scandole di legno

A Scuola

B Casa di abitazione

139 • Scuola professionale per il legno

Nantes, Francia; 1995

Architetto: J.-R Logerai, Anger

Ingegneri strutturisti:
CS Bois, J. Natterer, M. Flach, Peisey-Nancroix

Montanti di legno circolari sostengono uno strato di travi principali disposte in quadrato ortogonalmente. Sopra di esso è disposto diagonalmente un graticcio di elementi di legno a sezione quadrata, nel quale è circoscritta una cupola nervata circolare costruita con il metodo ad assi impilate. Le forze orizzontali della cupola sono assorbite da un anello di lamellare. La cessione dei carichi verticali della cupola avviene attraverso montanti di legno, che contemporaneamente formano l'impalcatura portante del tronco di cono, il cui rivestimento in legno assorbe le forze del vento.

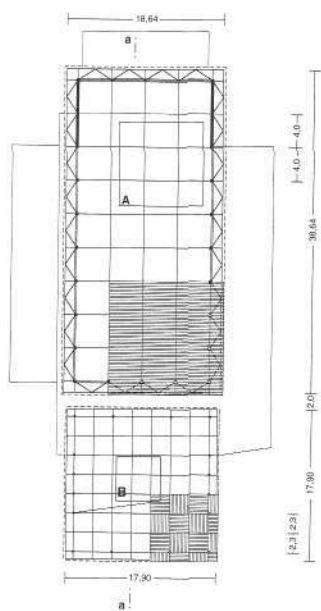
1 Legno di conifere 12/12
2 Lamellare 7,8/37,4
3 Anello esterno in lamellare 21/21,2
4 Trave cupola in assi impilate 13,6/16,8
5 Legno di conifere 11,2/20,1

140 • Padiglione polivalente

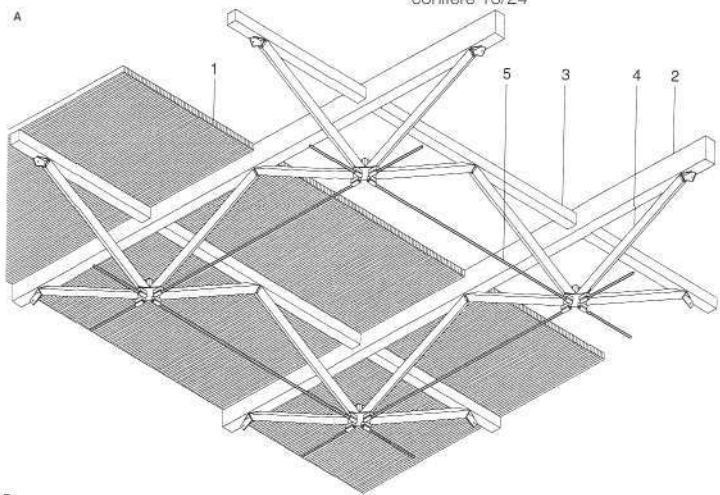
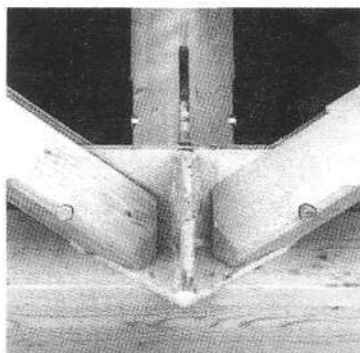
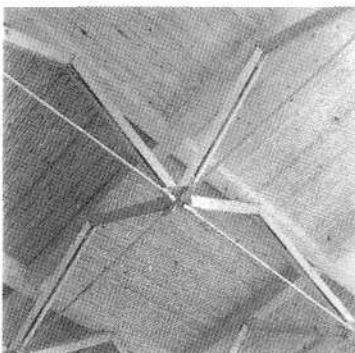
Lüterkofen, Svizzera; 1993

Architetto: A. Schlup, Solothurn

Ingegnere strutturista:
Natterer Bois-Consuit, Etoy

L'intera costruzione del tetto poggia su montanti. Il sistema portante principale e formato da 10 capriate reticolari poste a distanza di 4 m. Le capriate hanno una luce di 16 m. Il sistema portante secondario e formato anch'esso da capriate reticolari a distanza di 4 m trasversalmente alla direzione delle travi principali. Sistema portante principale: corrente superiore in legno lamellare. Diagonali in legno di quercia classificato Fi/Ta 10/10; le sezioni sono ruotate di 45°. Corrente inferiore in perni di acciaio filettati e cemento. Sistema portante secondario: corrente superiore in Fi/Ta 10/10; le sezioni sono ruotate di 45°. corrente inferiore in acciaio. Su questo sistema è stata posata una soletta di assi impilate chiodata, la quale con il suo effetto lastra svolge la stabilizzazione.

aa

1 Soletta in assi impilate 100
2 Trave principale salone in lamellare 18/38
3 Trave secondaria salone in legno di conifere 16/18
4 Diagonale in legno di conifere 10/10
5 Tirante in acciaio d = 28
6 Trave in legno di conifere 16/24
7 Diagonale in legno di conifere 10/10
8 Tirante in acciaio d = 25

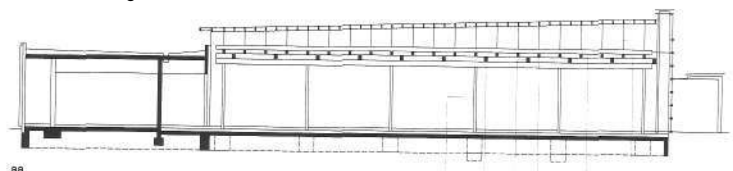
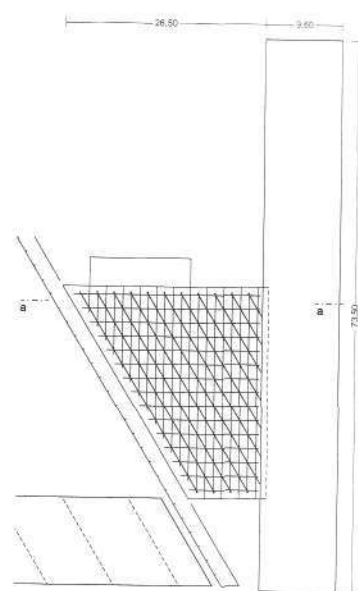
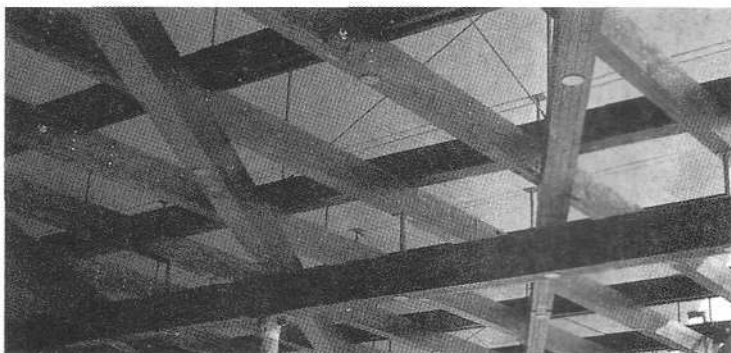
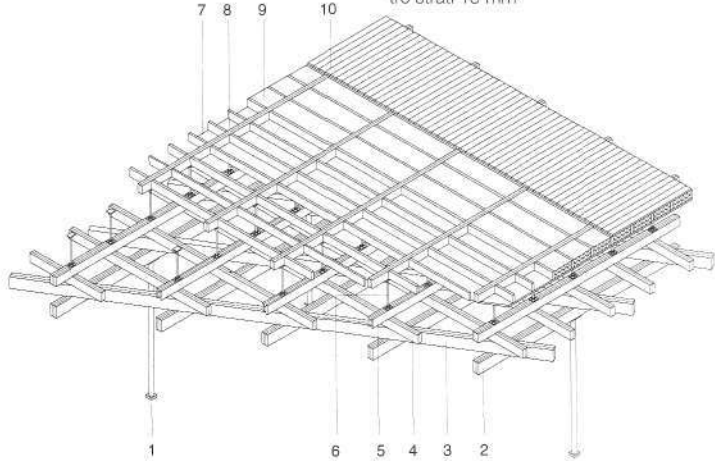
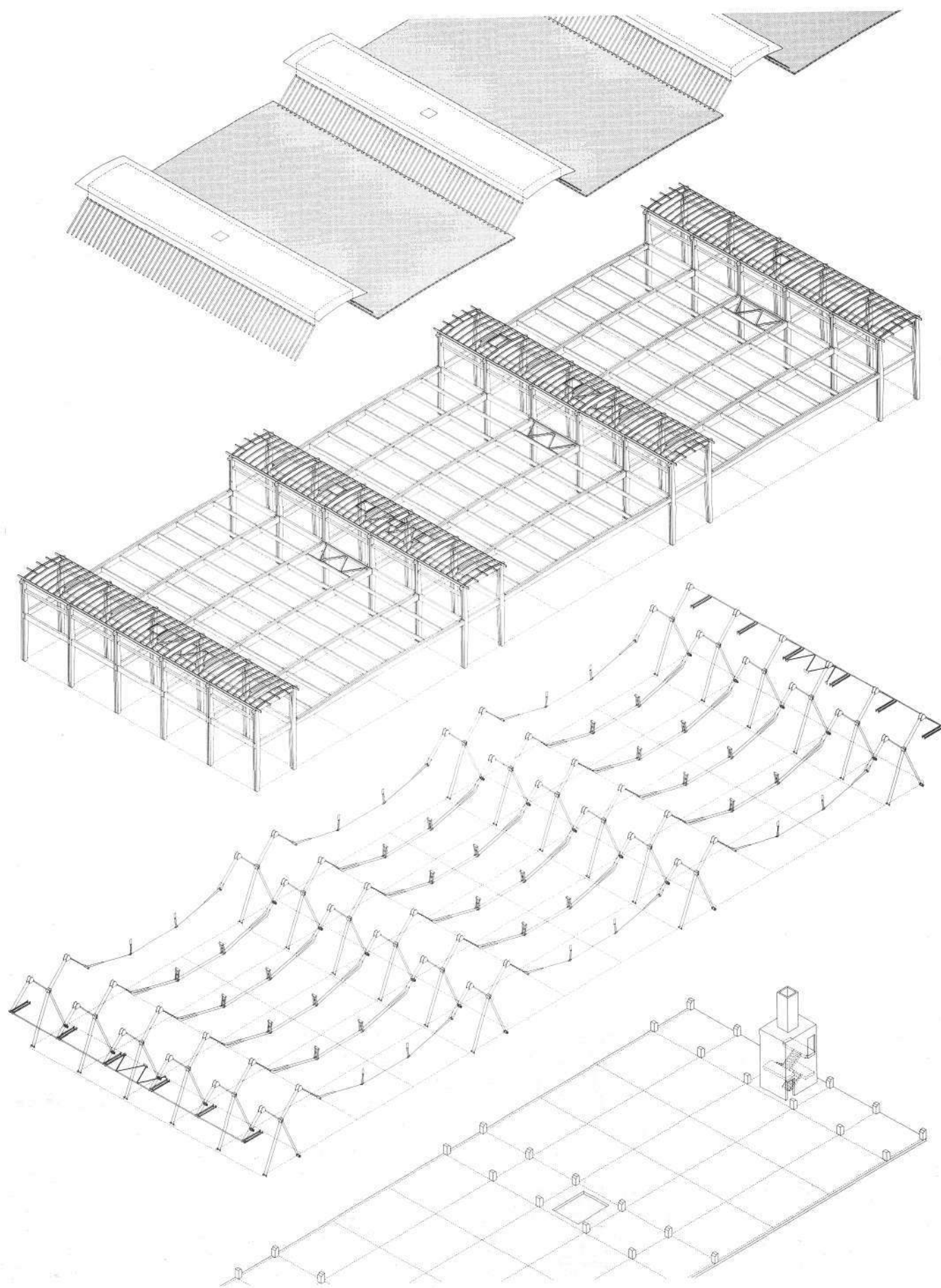
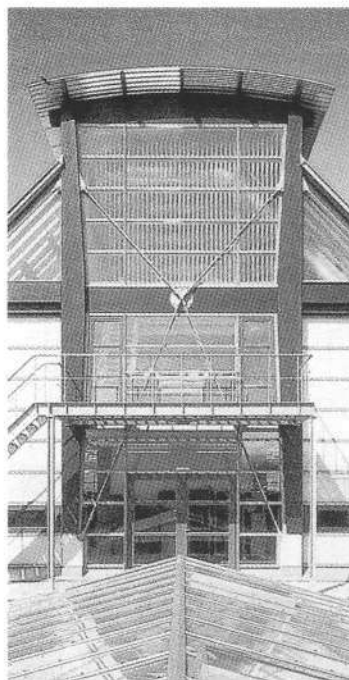
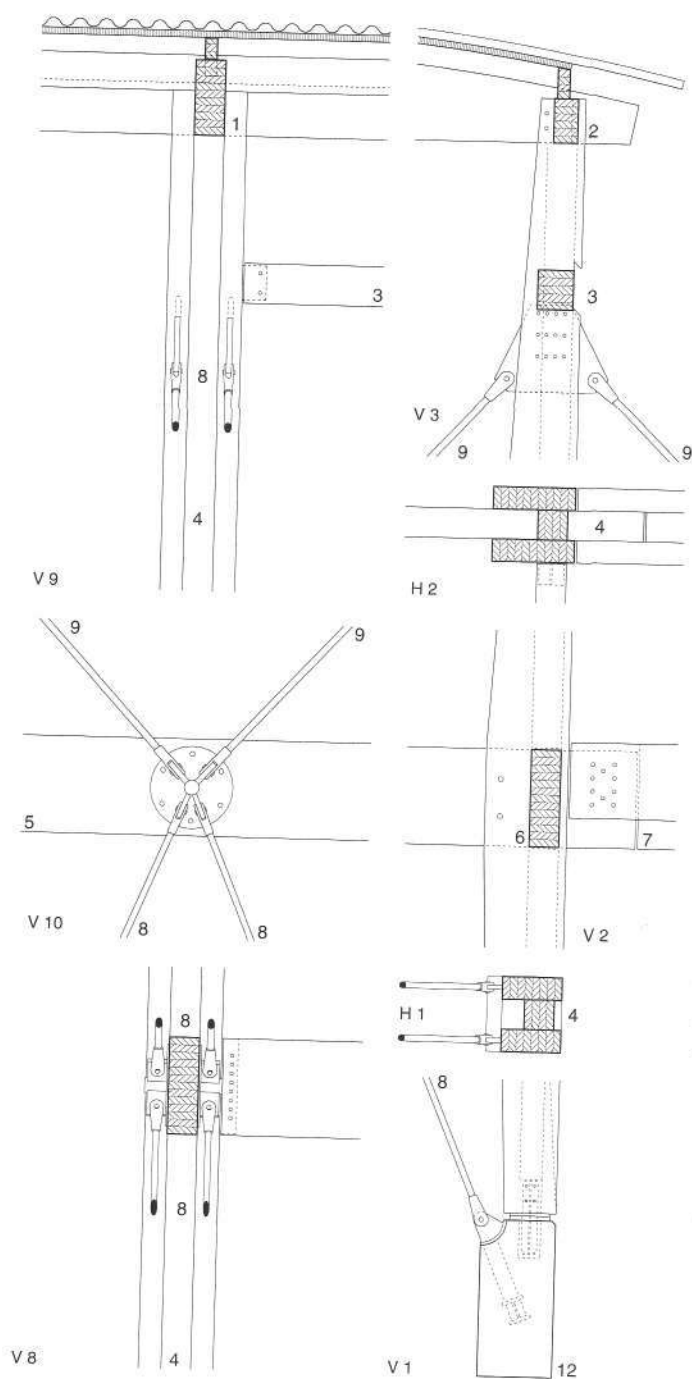
A

B

141 • Area di servizio e rifornimento

Lechwiesen, Germania; 1995

Architetti:
Thomas Herzog, Hanns Jörg Schrade con Arthur Schankula, Monaco

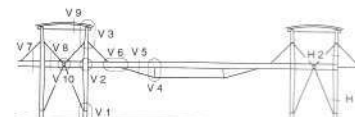
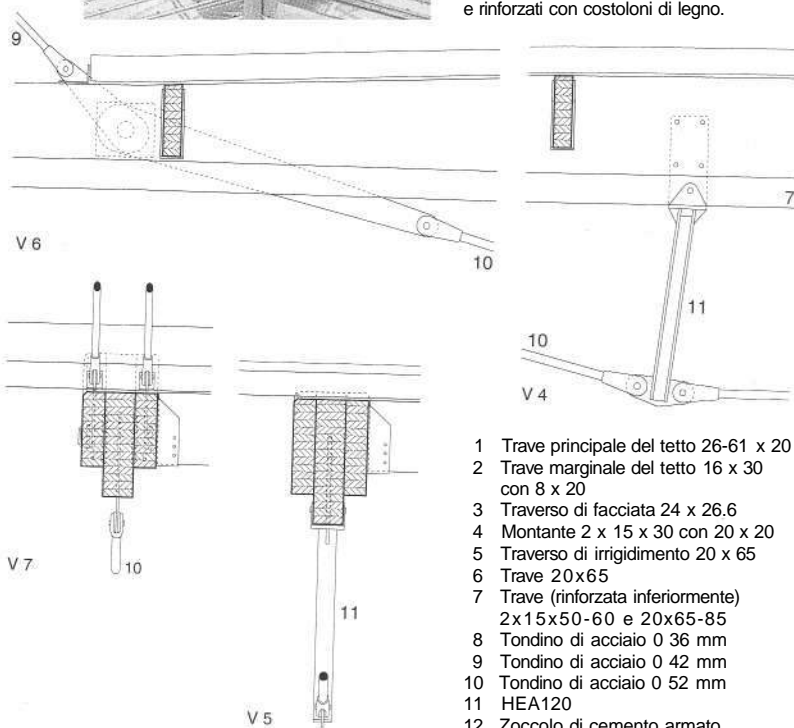
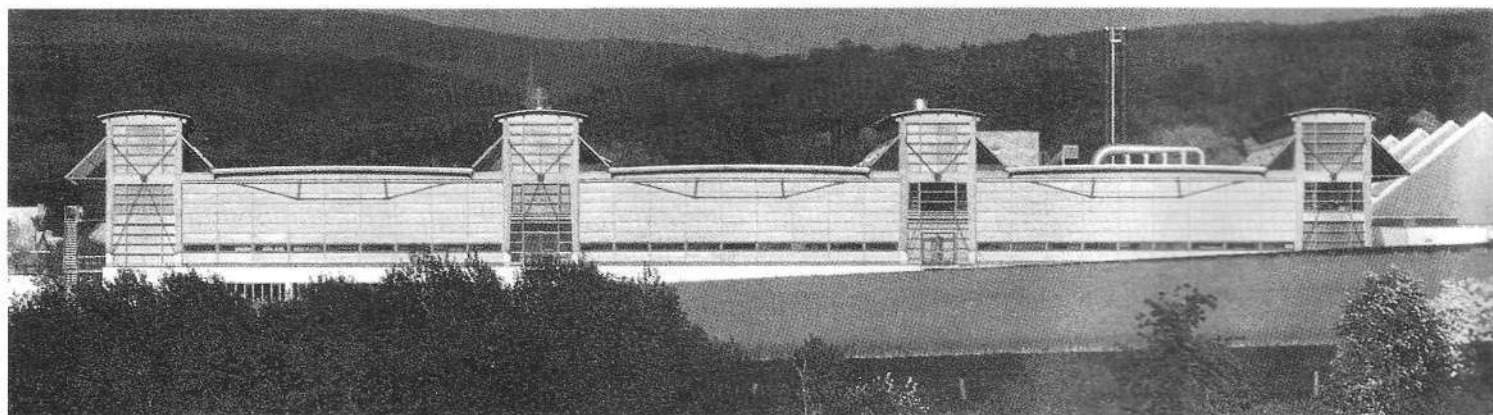
Ingegneri strutturisti:
Sailer e Stepan, Monaco
Wolfgang Winter, Vienna

Area di servizio con tetto per rifornimento, passerella, ristorante e servizi. È raffigurata in dettaglio la costruzione portante del tetto del ristorante, che poggia su montanti di acciaio in un reticolo 7,50 x 4,50 m. I singoli strati del graticcio di travi di legno sono di dimensione digradante dal basso verso l'alto. Barre di acciaio poste tra i quattro strati del graticcio di legno supportano il tetto e ne disegnano la pendenza. Tutte le sezioni del graticcio di travi di legno rimaste a vista sono composte da tavole di legno massello di abete rosso. I giunti longitudinali sono conformati come cerniere Gerber. L'assorbimento delle forze del vento è svolto dalla costruzione di cemento armato della zona dì servizio alla quale il graticcio è collegato per mezzo di elementi triangolari di acciaio.

aa

1 Montante, tubo di acciaio d = 101,6 mm, s = 5 mm
2 Strato di travi 1 in legno di conifere 4 × 4/28
3 Strato di travi 2 in legno di conifere 4 × 4/28
4 Strato di travi 3 in legno di conifere 3 × 4/22
5 Strato di travi 4 in legno di conifere 4 × 4/22
6 Tubo di acciaio d = 30 mm s = 10 mm
7 Pannellatura a tre strati 15 mm
8 Travetto in legno di conifere 2 × 6/20
9 Isolamento 200 mm
10 Rivestimento di tavole 30 mm

142 • Capannoni industriali

Bad Mùnder, Germania; 1992

Architetto: Thomas Herzog, Monaco
con Bernd Steigen/vald, Haag, von Ohlen, Rüffer e associati

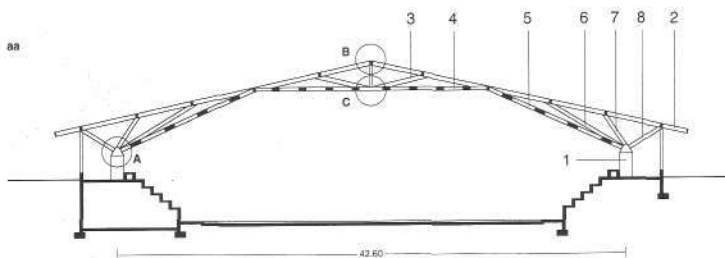
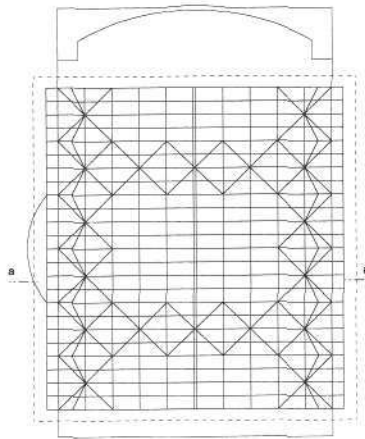
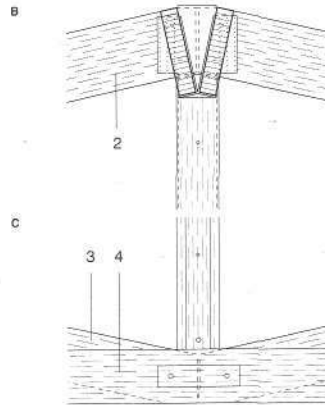
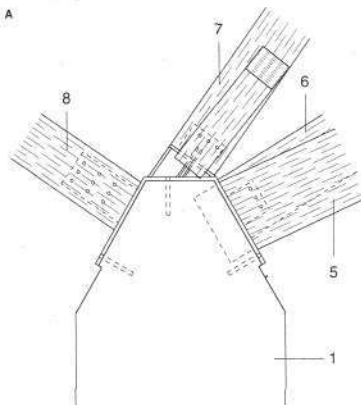
ingegneri strutturisti:
Sailer & Stepan, Monaco

Cavalletti larghi 5,40 m a distanza di 30 m con tetto sospeso posto tra di essi. **Le travi** rinforzate da tiranti inferiori sono integrate con elementi incrociati per l'irrigidimento longitudinale. Struttura portante principale in lamellare con montanti ad andamento conico. Interasse 6,60 m. Altezza statica delle travi rinforzate inferiormente 1,50 m. Aste tese pretensionate dal lato dì testa con 40 kN. Collegamento delle forze con lamiere intagliate e spine. Passaggio alle aste circolari in forcelle di acciaio con filettatura destrorsa-sinistrorsa. Come lastre del tetto sono stati usati pannelli incollati da 2,7 x 6,6 m, rivestiti di compensato e rinforzati con costoloni di legno.

1 Trave principale del tetto 26-61 x 20
2 Trave marginale del tetto 16 x 30 con 8 x 20
3 Traverso di facciata 24 x 26.6
4 Montante 2 x 15 x 30 con 20 x 20
5 Traverso di irrigidimento 20 x 65
6 Trave 20x65
7 Trave (rinforzata inferiormente) 2x15x50-60 e 20x65-85
8 Tondino di acciaio 0 36 mm
9 Tondino di acciaio 0 42 mm
10 Tondino di acciaio 0 52 mm
11 HEA120
12 Zoccolo di cemento armato

143 • Palazzetto del ghiaccio

Surrey, Canada; 1990

Architetto: L. Trubka Ass, Vancouver

Ingegneri strutturisti:
Ideazione: Natterer Bois-Consult, Etoy
Esecuzione: K. Merz, K. Lau, Vancouver

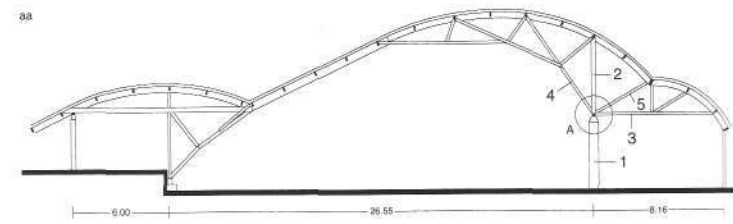
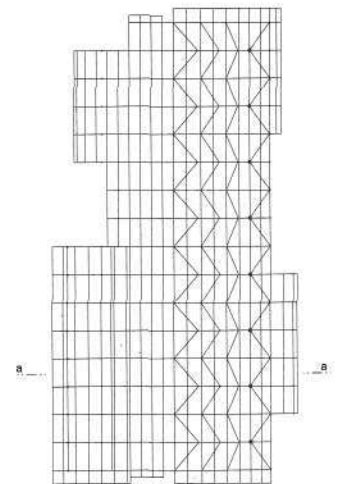
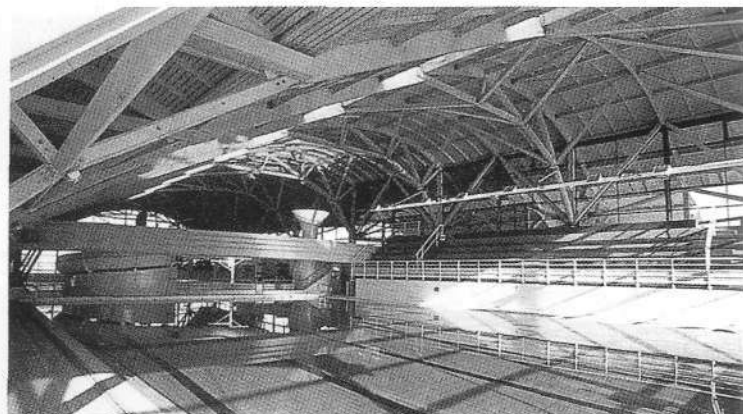
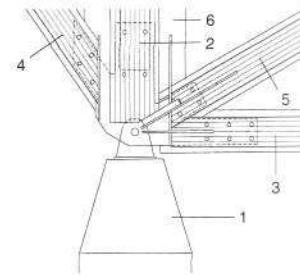
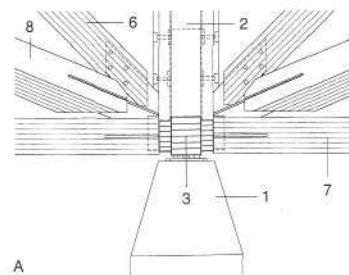
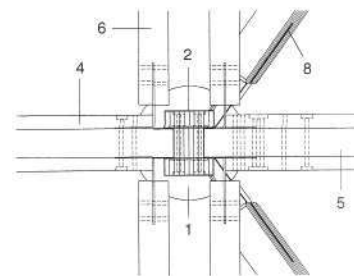
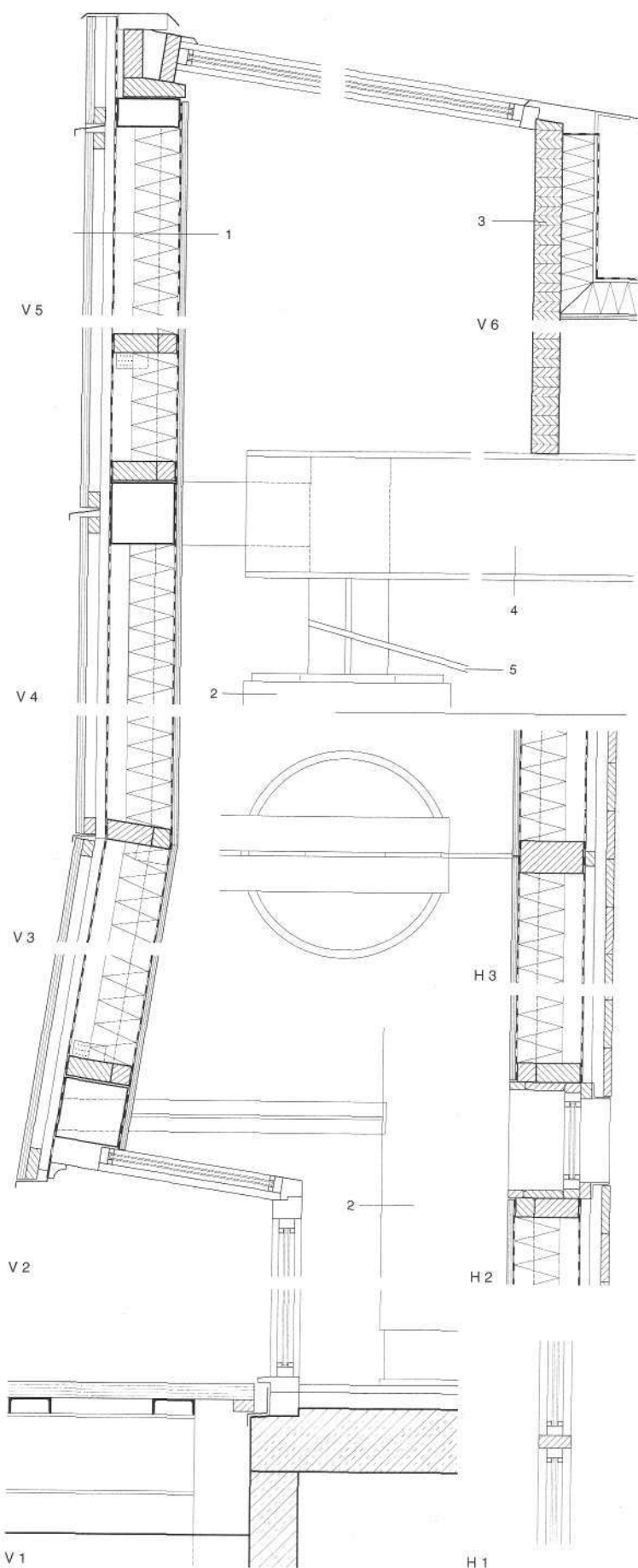
Ingegnere di progetto: Choukalos, Woodburn, McKenzie, Maranda Ltd, Vancouver

Sistema di aste tese in legno a strisce impiallacciato (PSL) con semplici connessioni a compressione, telai con 2 cerniere e capriate triangolari sospese. Sezioni continue sulle cerniere per ridurre i costi di connessione e per assorbire i carichi unilaterali di neve e vento.

1 Pilastro in cemento armato 112/45 cm
2 Trave PSL 22,2/35,6
3 Puntone PSL 22,2/28,6
4 Trave PSL 2x 13,3/28,6
5 Puntone PSL 2 x 17,8/40,6
6 Puntone PSL 22.2/35,6
7 Puntone PSL 22,2/28,6
8 Puntone PSL 22,2/28,6

144 • Piscina coperta

Sète, Francia; 1993

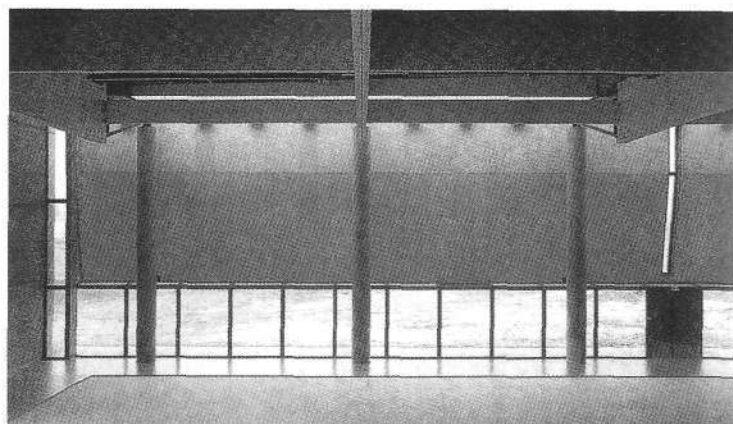
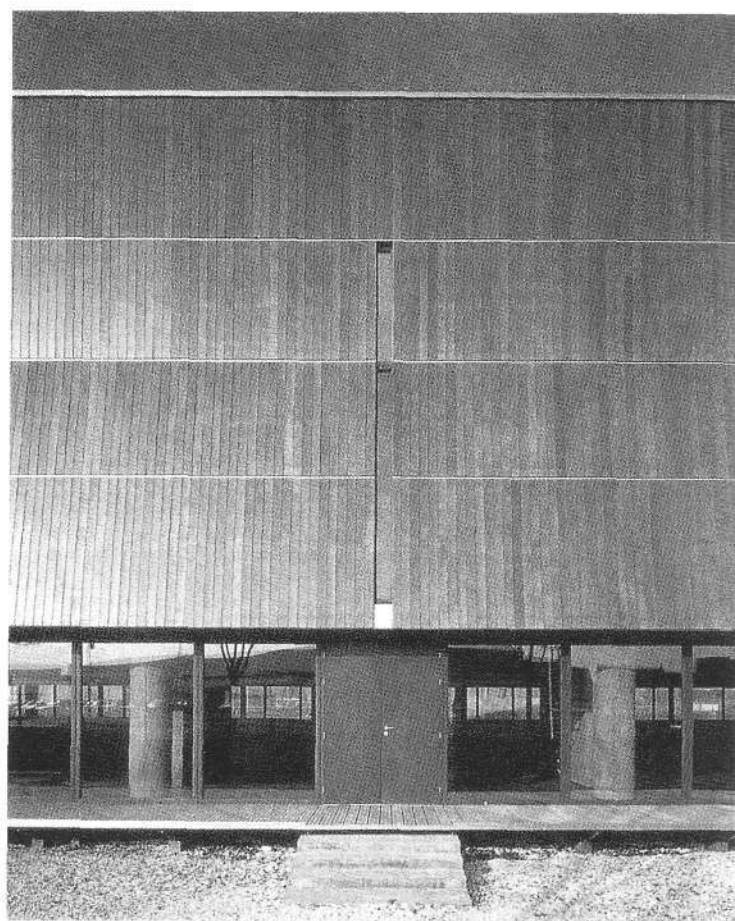
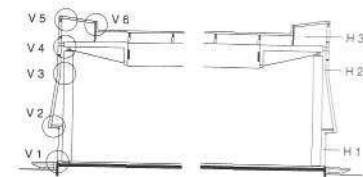
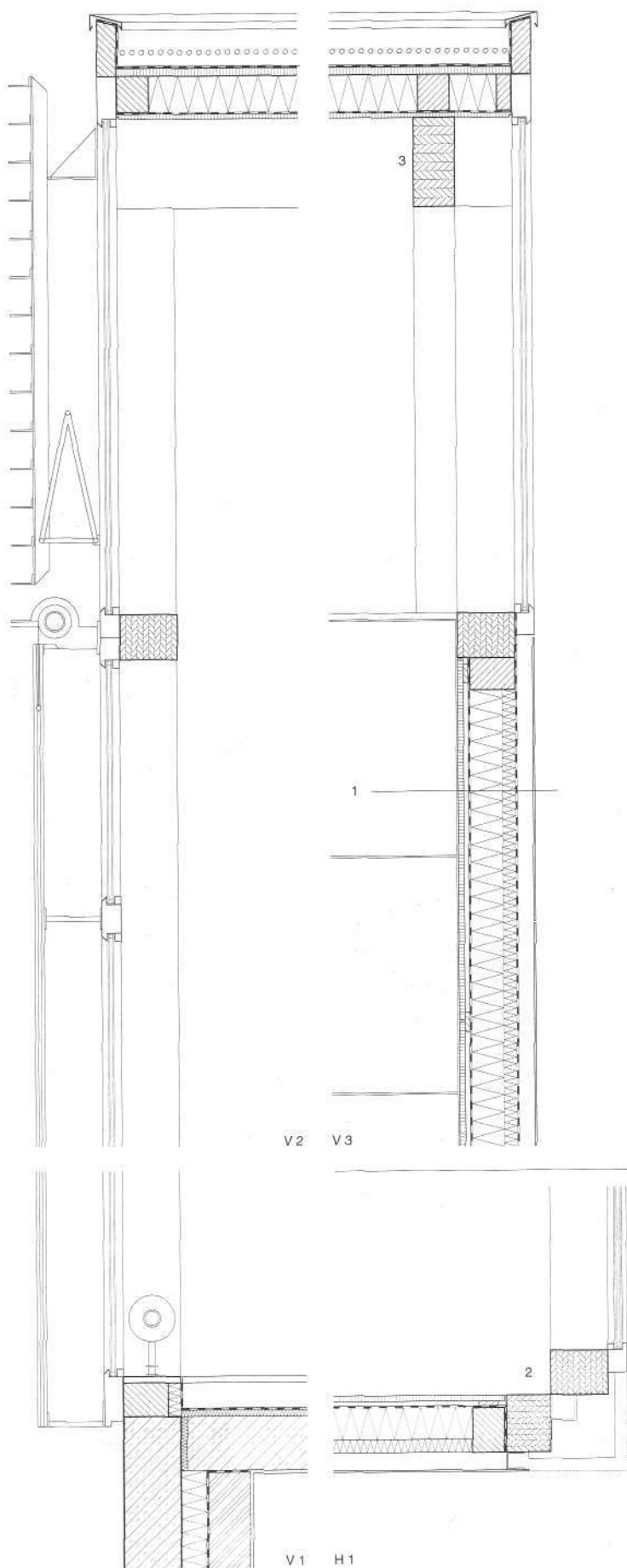
Architetto: Carduner, Parigi; Coste, Montpellier

Ingegnere strutturista: ICS Bois, J. Natterer, M. Flach, Peisey-Nancroix

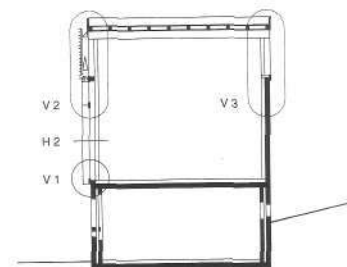
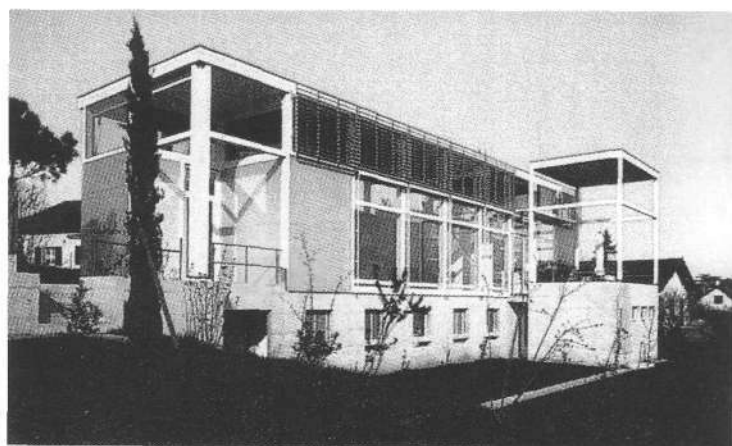
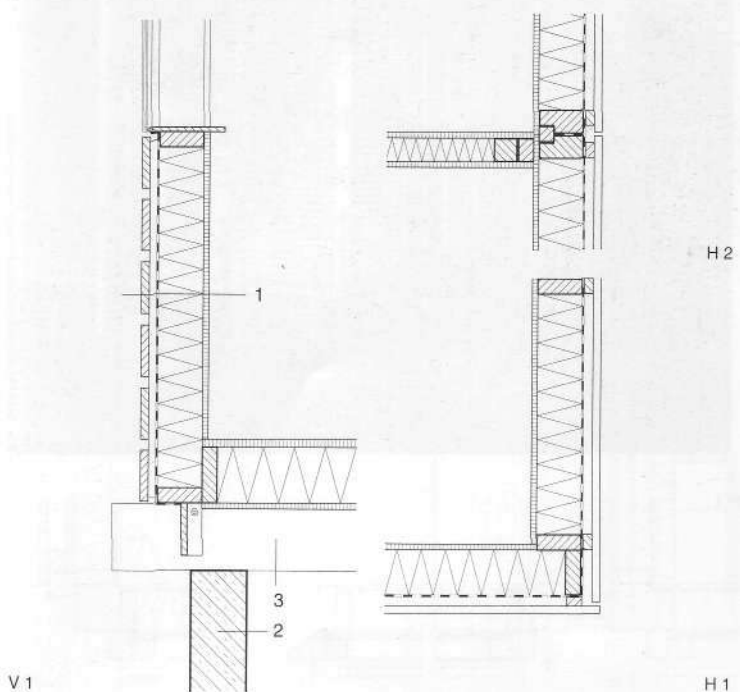
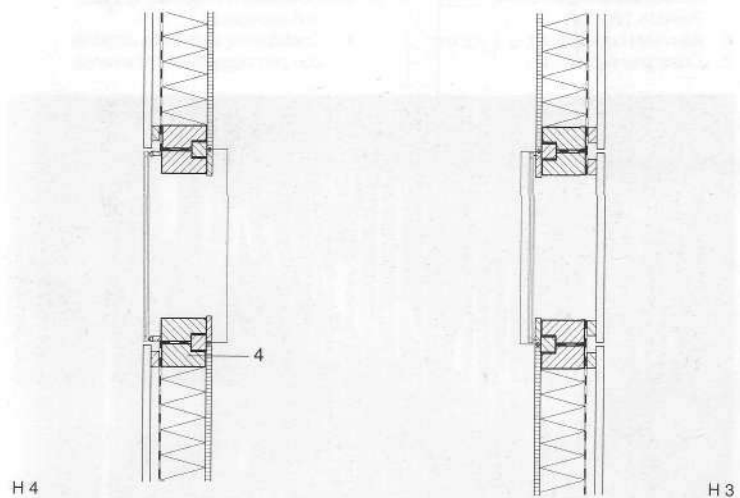
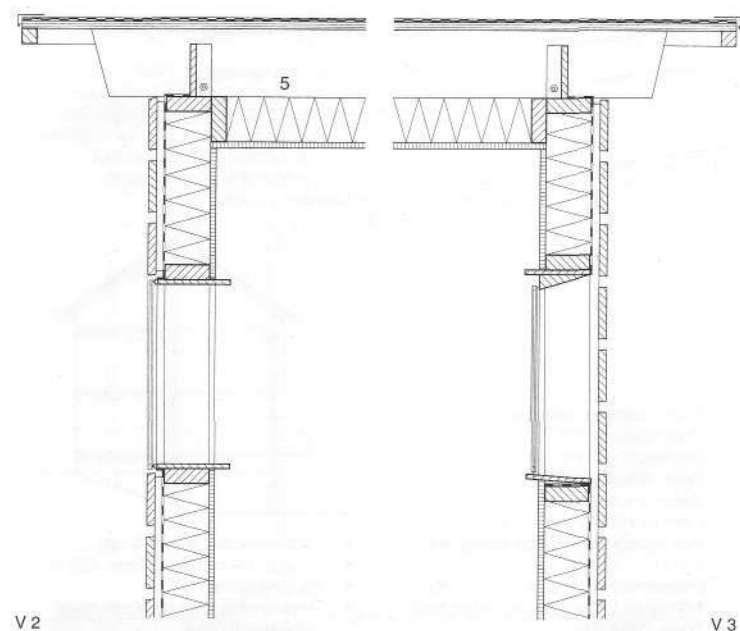
Travi principali del tetto ricurve con supporto inferiore, disposte negli assi dei montanti secondo il principio reticolare mentre negli assi privi di montanti consistono in puntoni del corrente inferiore del reticolo. Cessione delle forze orizzontali nei pilastri di cemento armato incastrato e tramite la costruzione di legno sottostante direttamente nelle fondamenta.

1 Pilastro di calcestruzzo d = 60 cm
2 Lamellare 15,5/17,2 + + 2 x 26/8,8
3 Lamellare 22,1/16 + + 2x15,5/6,6
4 Lamellare 22,1/16 + + 2x 15,5/6,6
5 Lamellare 18,8/16 + + 2x15,5/6,6
6 2 x lamellare 18,8/16
7 Lamellare 18,8/18,5
8 Lamellare 18,8/18,5

1 Parete esterna: ventilata, 310 min
Pannelli di legno di betulla 18
Barriera al vapore
Isolamento termico 140
tra i rompitratta:
legno lamellare verticale 100/200
legno di conifere orizzontale 60/60
e legno di conifere 140/60
Foglio ermetico
Listellatura verticale 30/45
Listellatura orizzontale 36/50
Rivestimento verticale in legno di iroko
2 Pilastro di cemento d = 65 cm
3 Travi di estremità in lamellare 85/1350
4 2 profili UPN 400
5 2 barre di acciaio 12/80

47 • Palestra

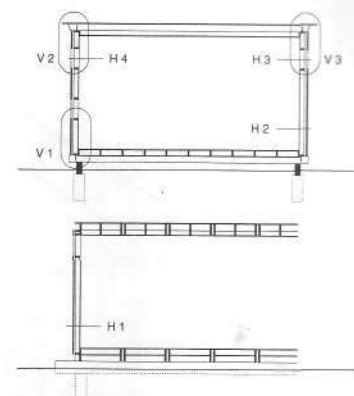
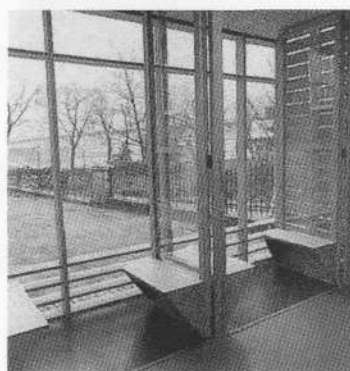
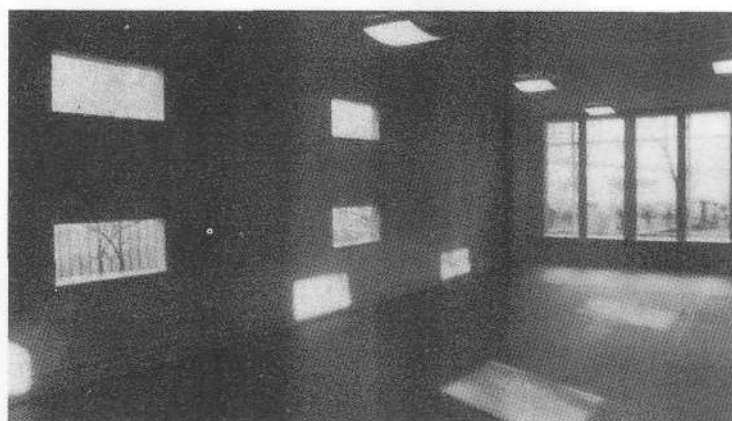
Brétigny, Francia; 1994

Architetto: Patrick Berger, Parigi
Collaborazione: Marc Reynaud

48 • Casa di abitazione

Nyon, Svìzzera; 1994

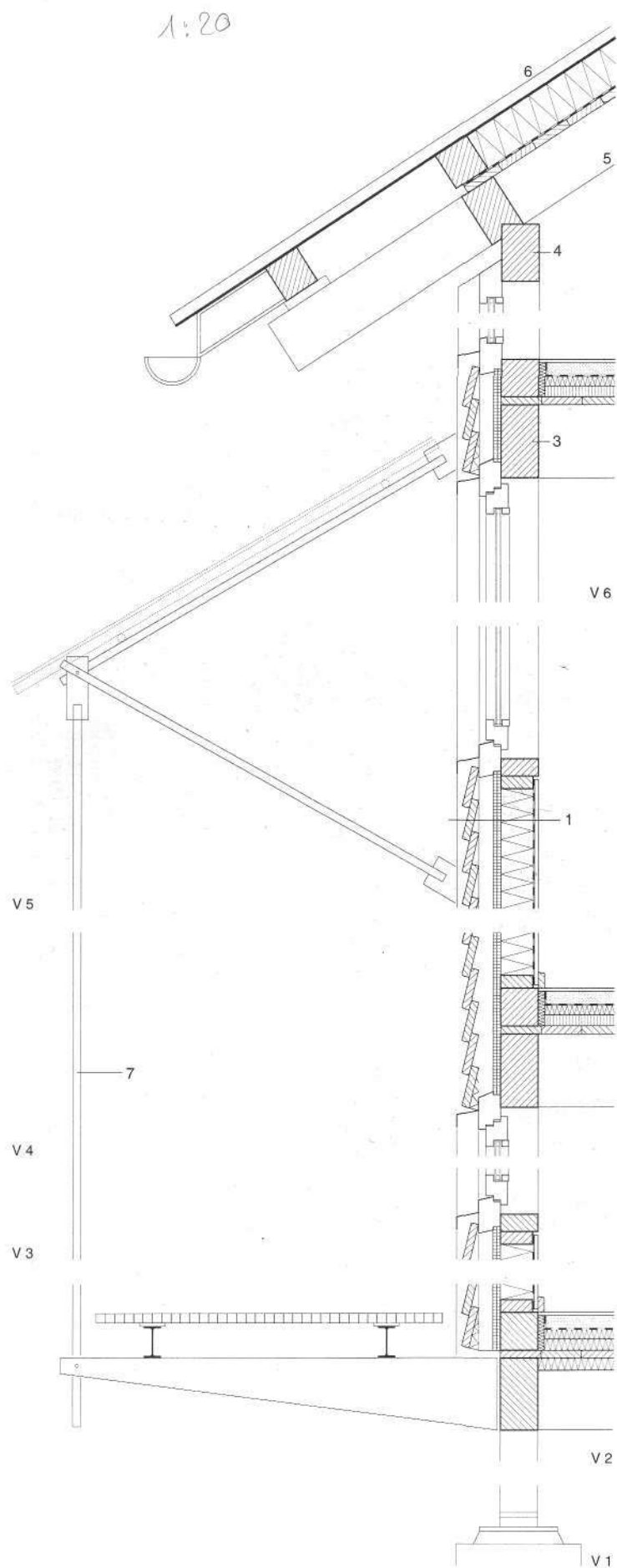
Architetto: Vincent Mangeat, Nyon
Collaborazione: Thierry Bruttin

- Reticolo di costruzione e di facciata: 250 cm
- Facciata in elementi prefabbricati
- Involucro esterno in Alucobond

1 Parete esterna: ventilata, 200 mm
Compensato 19
Listellatura 24/48
Barriera al vapore
Isolamento termico 100
Isolamento contro il vento
Intercapedine, ventilata 50
Pannello di Alucobond 2,5
su profili perpendicolari
2 Montante in lamellare 140/180
3 Trave in lamellare 140/280

49 • Asilo infantile

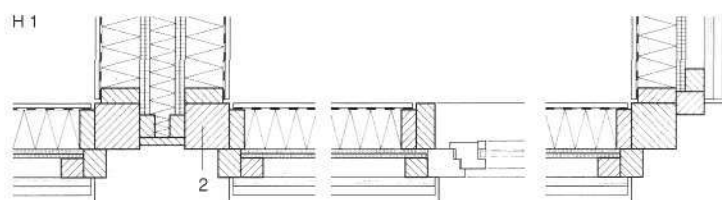
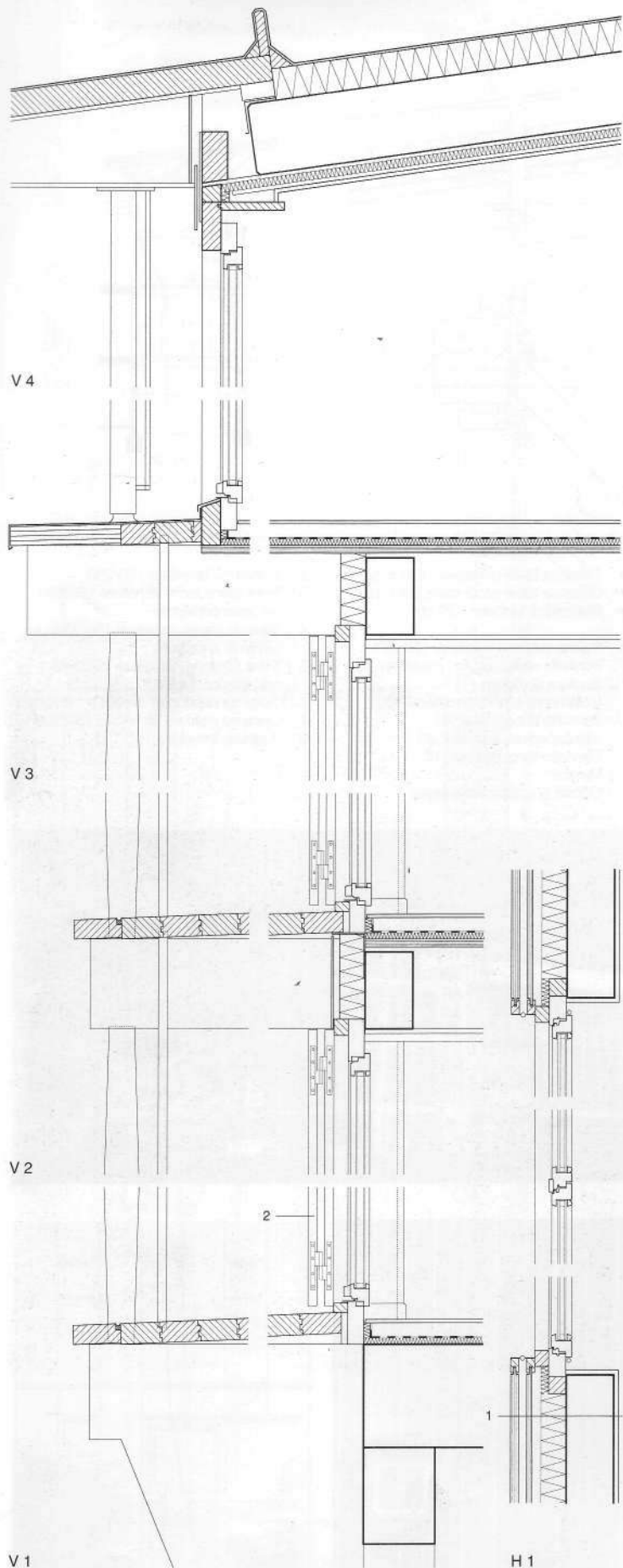
Basilea, Svizzera; 1988

Architetto: Morger & Degelo, Basilea
con Gérard Prêtre

- Reticolo di facciata: 120 cm
- Trave a una campata, luce: 608 cm
- Rivestimento esterno in abete, grezzo
- Costruzione smontabile
- Rivestimento interno in legno compensato incerato
- Guide per installazioni aperte

1. Parete esterna: ventilata, 182 cm
   Legno compensato 15
   Telaio di legno 40/120
   Isolamento termico 120
   Cartone per il tetto
   Intercapedine, ventilata: listellatura 24/40
   Rivestimento aperto, grezzo 21/136
2. Travi di cemento 150/320
3. Trave in legno di conifere 2 x 30/330
4. Montante, in legno di conifere 2 x 60/120
5. Trave del tetto in legno di conifere 2 x 40/300

50 • Pensionato studentesco

Costanza, Germania; 1992

Architetto: Schaudt Architekten, Costanza
Architetto progettista: Helmut Hagmùller
Collaborazione: Thomas Baldauf,
Gregor Mertens, Jürgen Jakob,
Thorsten Gabele

1 Parete esterna: ventilata, 210 mm
Cartongesso 12,5
Barriera al vapore
Telaio di legno 40/107
Isolamento termico 100
Fibre morbide 2 strati, 13
Intercapedine, ventilata; listellatura 40/60
Rivestimento sovrappostO'24/130
2 Montante 120/120 legno di conifere
3 Trave 120/220
4 Arcareccio di base 120/180
5 Travetto 120/180
6 Alluminio ondulato 40, d = 1,2 mm
7 Costruzione di acciaio

- Retìcolo di facciata: 100 cm
- Trave a una campata, luce: 400 cm
- Pareti divisorie F 90
- Rivestimento esterno abete rosso, verniciato a colori
- Costruzione di acciaio zincato, non verniciata
- Costruzione sostenuta da piloni con parcheggio nel sotterraneo

51 • Casa di abitazione

Basilea, Svizzera; 1987

Ardhitetto: Herzog & de Meuron, Basilea

V 4

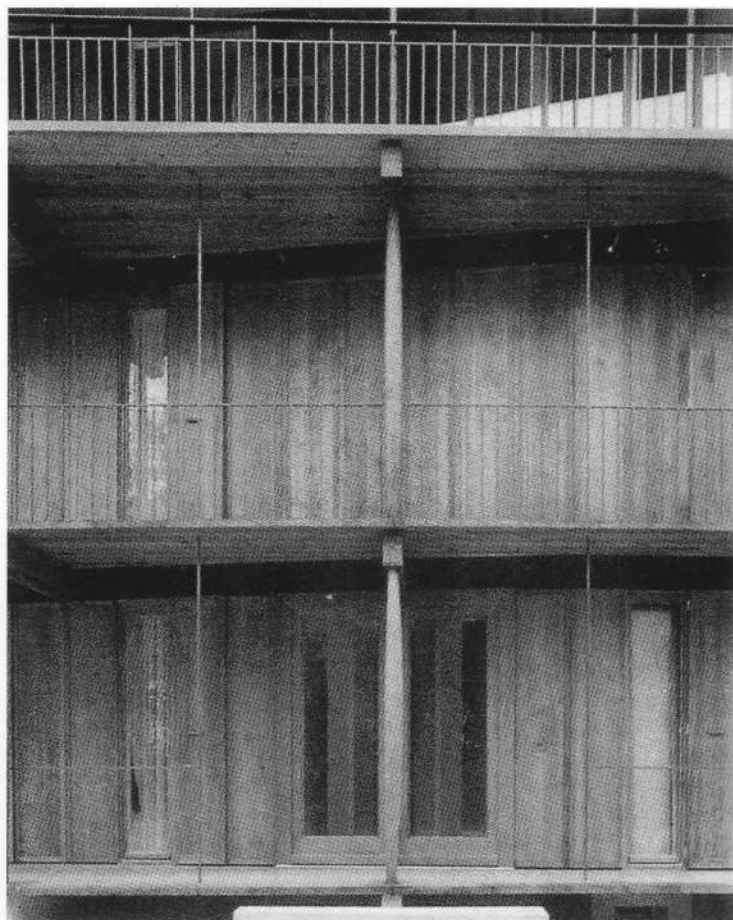
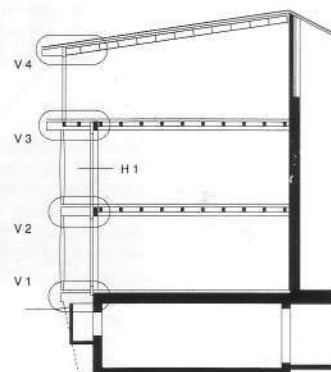
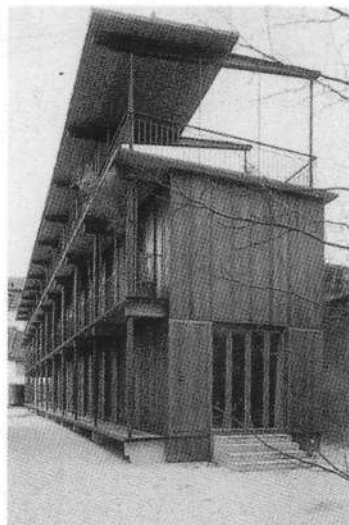
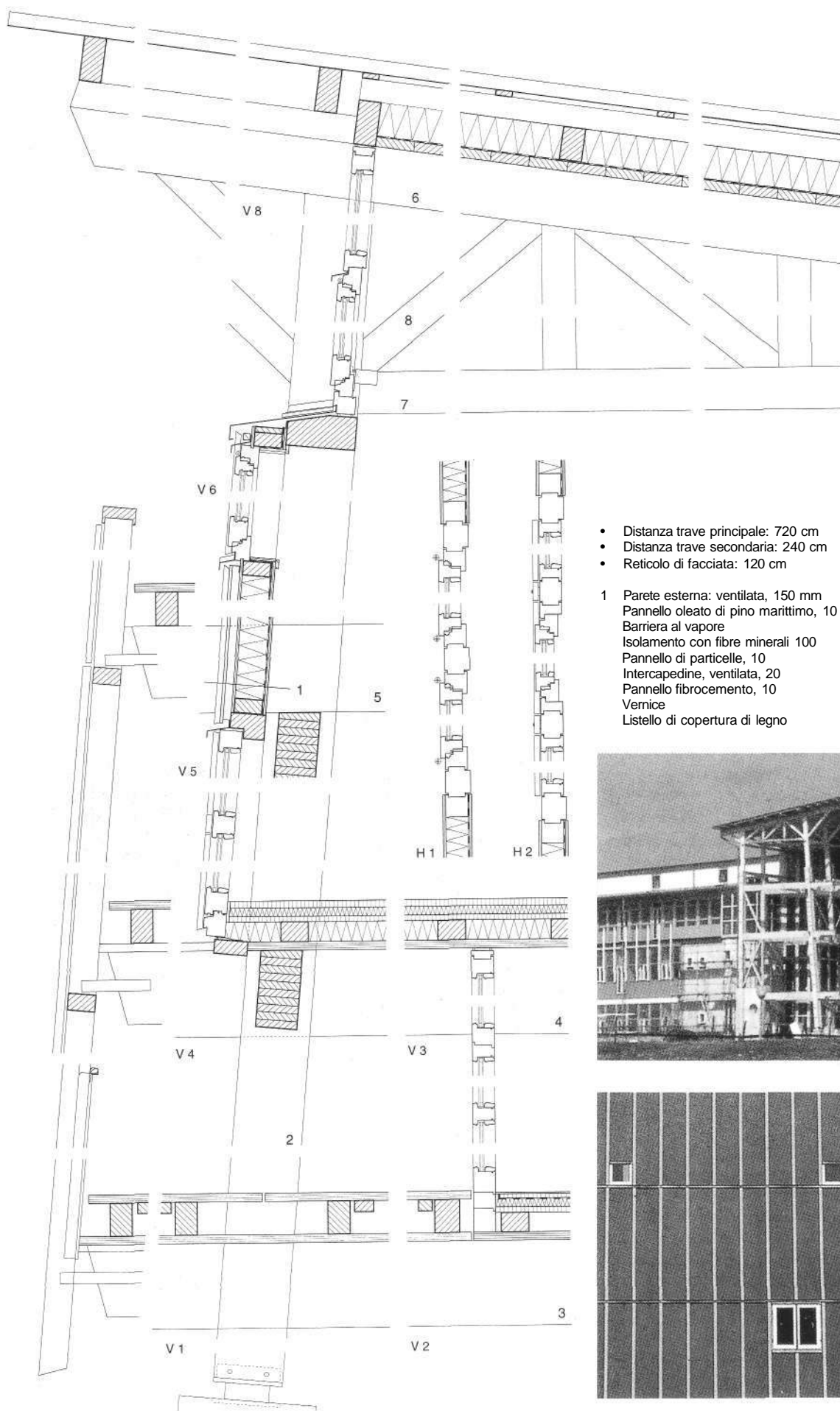
V 3

V 2

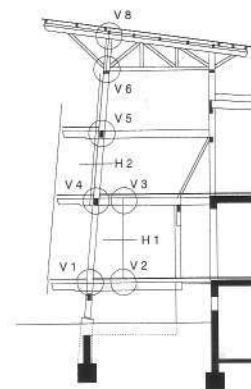
2

1

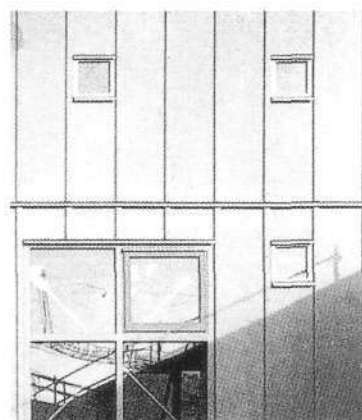
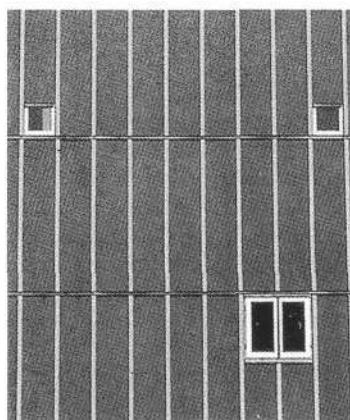
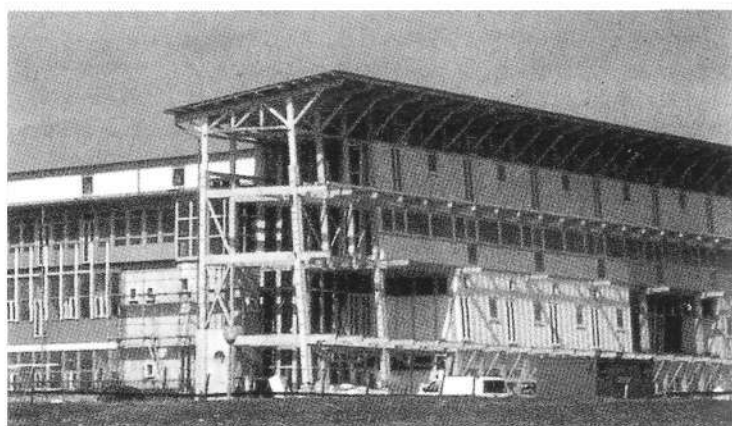
V 1

H 1

1 Parete esterna: ventilata, 290 mm
   Intonaco 15
   Muratura 150
   Isolamento termico 80
   Strato d'aria 25
   Rivestimento in legno di quercia 20
2 Persiane scorrevoli in legno di quercia 25

52 • Università

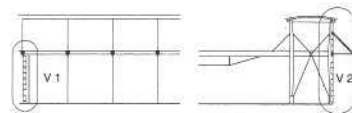
Ulm, Germania; 1995

Architetto: Steidle e associati, Monaco

- Distanza trave principale: 720 cm
- Distanza trave secondaria: 240 cm
- Reticolo di facciata: 120 cm

1 Parete esterna: ventilata, 150 mm
Pannello oleato di pino marittimo, 10
Barriera al vapore
Isolamento con fibre minerali 100
Pannello di particelle, 10
Intercapedine, ventilata, 20
Pannello fibrocemento, 10
Vernice
Listello di copertura di legno

2 Montante, lamellare 150/250
3 Trave piano terra, lamellare 150/320 nell'asse principale
4 Trave 1 ° piano, lamellare 150/320 nell'asse principale
5 Trave 2° piano, lamellare 150/340 nell'asse principale
6 Corrente superiore, lamellare 150/200
7 Corrente inferiore, lamellare 150/150
8 Puntone, lamellare 150/120

53 • Capannoni industriali

Bad Münder, Germania: 1992

Architetto: Thomas Herzog, Monaco
con Bernd Steigerwald,
Haag, von Ohlen, Rüffer e associati

Costruzione montante-traverso in lamellare. Dietro i montanti nei settore del padiglione sono collocate travi leggere in acciaio saldato per assorbire i carichi orizzontali. Protezione dai carichi d'urto tramite incastro alla base. Facciate est-ovest tamponate prevalentemente con pannelli a diffusione fuminosa, facciate nord-sud tamponate con pannelli opachi isolati dotati di rivestimento di legno di larice.

Facciata ovest-est V1 V2 Facciata nord-sud

Normativa italiana

Alberto Galeotto

Indice

Introduzione

Significato delle sigle

Le norme tecniche sono elaborate dall'UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione - e vengono identificate mediante un codice alfanumerico: una sigla in lettere, seguita dal numero, dalla data di oubblicazione e dal titolo della norma.

Le sigle in lettere hanno il seguente significato.

UNI
Le norme il cui numero distintivo non è integrato da alcuna sigla particolare oltre a "UNI" sono quelle elaborate direttamente dagli Organi Tecnici dell'UNI.

UNI ISO
Versione italiana delle norme internazionali ISO, oppure la loro adozione in lingua inglese.

UNIEN
Norme elaborate dal Comitato Europeo di Normazione (CEN), obbligatoriamente recepite nei Paesi dell'Unione Europea, in quanto accettate come tali da una maggioranza qualificata di membri votanti, tradotte in italiano oppure adottate integralmente in una delle lingue ufficiali del CEN (inglese, francese o tedesco). Non consentono la presenza a livello nazionale di norme che non siano in armonia con il loro contenuto.

UNI EN ISO
Versione ufficiale delle norme europee EN che recepiscono, senza varianti, il testo delle omonime norme internazionali ISO. Possono essere tradotte in lingua italiana o adottate nella versione in lingua originale.

UNI ENV
Norme europee di natura "sperimentale" pubblicate nei casi di urgenza.

UNI HD
Sono documenti pubblicati nei casi in cui non si sia ancora pervenuti alla completa armonizzazione. Possono contenere deviazioni nazionali, pur conservando l'obbligo di recepimento da parte dei Paesi dell'Unione Europea.

UNI CEI
Norme elaborate e pubblicate congiuntamente con il Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI).

CNR UNI
Norme conformi a quelle pubblicate dal Consiglio Nazionale delle Ricerche sul proprio bollettino "Norme Tecniche".

UNI EU
Versione italiana delle EURONORM elaborate dalla Commissione di Coordinamento per la Nomenclatura dei Prodotti Siderurgici della Comunità Europea del Carbone e dell'Acciaio (CECA). Sono destinate ad essere progressivamente sostituite dalle norme europee EN.

SS (STANDSTILL)
Sono progetti di norma nazionale e pubblicati come tali, in accordo con le regole CEN, quando sullo stesso argomento è in atto un procedimento di normazione europea.

FA
Foglio di aggiornamento alla norma.

Le *regole tecniche* sono i provvedimenti legislativi (decreti, circolari, leggi) emessi dalle autorità competenti. Sono sempre di osservanza obbligatoria. Vengono identificate dalla tipologia del provvedimento, dalla data di emissione e dal titolo.

Norme tecniche

Tecnologia del legno

Requisiti, prove, classificazioni

UNI 2853	10-73	Nomenclatura delle specie legnose che vegetano spontanee in Italia
UNI 2853 FA 147-84	10-84	Foglio di aggiornamento n. 1 alla UNI 2853 (ott. 1973)
UNI 2854	11-87	Nomenclatura delle specie legnose esotiche coltivate in Italia
UNI 3252	05-87	Legno. Condizioni generali per prove fisiche e meccaniche
UNI 3253	11-52	Prove del legno. Condizionatura
UNI 3254	11-52	Prove sul legno. Determinazione della fittezza media degli anelli annuali
UN! 3261	11-52	Prove sul legno. Determinazione del modulo di elasticità a compressione
UNI 3263	11-52	Prove sul legno. Determinazione del modulo di elasticità a trazione
UNI 3517	03-54	Nomenclatura dimensionale degli assortimenti legnosi di produzione nazionale
UNI 3518	03-54	Misurazione e cubatura degli assortimenti legnosi di produzione nazionale
UNI 3917	04-83	Nomenclatura commerciale dei legnami esotici d'importazione
UNI 3917 FA 1-89	04-89	Foglio di aggiornamento n. 1 alla UNI 3917(apr. 1983)
UNI 4143	12-58	Prove sul legno. Prova di spacco in direzione assiale
UNI 4145	12-58	Prove sul legno. Determinazione della capacità d'assorbimento d'acqua
UNI 4390	12-59	Nomenclatura dell'albero e'delie sue parti. Caratteristiche macroscopiche del legno. Elementi costitutivi del legno
UNI 4390 FA 154-85	02-85	Foglio di aggiornamento n. 1 alla UNI 4390 (die. 1959)
UNI 8938	04-87	Idoneità tecnica delle specie legnose per serramenti interni
UNI 9091/1	04-87	Legno. Determinazione dell'umidità. Metodo elettrico
UNI 9091/2	04-87	Legno. Determinazione dell'umidità. Metodo per pesata
UNI 9091/3	04-89	Legno. Determinazione dell'umidità. Metodo per distillazione azeotropica
UNI 9091/4	04-89	Legno. Determinazione dell'umidità. Metodo igrometrico
UNI 9713	05-90	Legno. Idoneità tecnica delle specie legnose per mobili per interni
UNI EN 942	01-98	Legno in falegnameria. Classificazione generale della qualità del legno
UNI ISO 3130	04-85	Legno. Determinazione dell'umidità per le prove fisiche e meccaniche
UNI ISO 3131	04-85	Legno. Determinazione della massa volumica per le prove fisiche e meccaniche
UNI ISO 3132	04-85	Legno. Determinazione della resistenza a compressione perpendicolare alla fibratura
UNI ISO 3133	04-85	Legno. Determinazione della resistenza a flessione statica
UNI ISO 3345	04-85	Legno. Determinazione della resistenza a trazione parallela alla fibratura
UNI ISO 3346	04-85	Legno. Determinazione della resistenza a trazione perpendicolare alla fibratura
UNI ISO 3347	05-83	Legno. Determinazione della resistenza al taglio parallelamente alla fibratura
UNI ISO 3348	04-85	Legno. Determinazione della resilienza in flessione
UNI ISO 3349	10-84	Legno. Determinazione del modulo di elasticità a flessione statica
UNI ISO 3350	04-85	Legno. Determinazione della durezza statica
UNI ISO 3351	04-85	Legno. Determinazione della resistenza alla penetrazione dinamica
UNI ISO 3787	04-85	Legno. Metodi di prova. Determinazione della resistenza a compressione parallela alla fibratura
UNI ISO 4469	04-85	Legno. Determinazione del ritiro radiale e tangenziale
UNI ISO 4858	03-88	Legno. Determinazione del ritiro volumetrico
UNI ISO 4859	03-88	Legno. Determinazione del rigonfiamento radiale e tangenziale
UNI ISO 4860	03-88	Legno. Determinazione del rigonfiamento volumetrico

Procedimenti legati alla tecnologia del legno

UNI 8662/1	09-84	Trattamenti del legno. Termini generali

UNI 8662/1 FA 197-87	01 -87	Foglio di aggiornamento n. 1 alla UNI 8662/1 (set. 1984)
UNI 8662/2	04-88	Trattamenti del legno. Termini relativi all'impregnazione e alla preservazione
UNI 8662/3	10-86	Trattamenti del legno. Termini relativi all'essiccazione
UNI 8859	01-86	Trattamenti preservanti del legno. Impregnazione a pressione in autoclave mediante composti in soluzione acquosa di rame, cromo e arsenico (CCA)
UNI 8860	01 -86	Trattamenti preservanti del legno. Composti in soluzione acquosa di rame, cromo e arsenico (CCA). Composizione, campionamento e metodi di analisi
UNI 8860 FA 263-88	09-88	Foglio di aggiornamento n. 1 alla UNI 8860 (gen. 1986)
UNI 8940	03-86	Legno. Trattamenti preservanti. Applicazione di sostanze preservanti in solvente organico con il procedimento a doppio vuoto
UNI 8976	10-85	Trattamenti preservanti del legno. Impregnazione a pressione in autoclave mediante creosoto
UNI 8977	10-85	Trattamenti preservanti del legno. Requisiti, campionamento e metodi di analisi del creosoto
UNI 9090	05-87	Legno. Trattamenti preservanti contro attacchi di funghi. Istruzioni per la preservazione con soluzioni a base di ossido dì stagno tributilico
UNI 9092/1	09-87	Trattamenti preservanti del legno. Impregnazione a pressione in autoclave. Caratteristiche generali degli impianti
UNI 9092/2	09-87	Trattamenti preservanti del legno. Impregnazione a pressione in autoclave. Determinazione dell'assorbimento netto di liquido impregnante
UNI 9784	11-90	Preservazione del legno. Guida alla scelta, all'uso ed ai procedimenti di applicazione dei preservanti del legno
UNI 10.154	01-93	Prodotti vernicianti. Stabilità in barattolo dei poliesteri tixotropizzati per legno e supporti legnosi a diverse temperature
UNI EN 20-1	11-97	Preservanti del legno. Determinazione dell'efficacia preventiva contro Lyctus brunneus (Stephens). Applicazione mediante trattamento superficiale (metodo di laboratorio)
UNI EN 20-2	11-97	Preservanti del legno. Determinazione dell'efficacia preventiva contro Lyctus brunneus (Stephens). Applicazione mediante impregnazione (metodo di laboratorio)
UNI EN 22	06-85	Preservanti del legno. Determinazione dell'efficacia curativa contro le larve di Hylotrupes bajulus (Linnaeus) (metodo di laboratorio)
UNI EN 46	04-90	Preservanti del legno. Determinazione dell'efficacia preventiva contro le larve neonate di Hylotrupes bajulus (Linnaeus) (metodo di laboratorio)
UNI EN 47	03-90	Preservanti del legno. Determinazione della soglia di efficacia contro le larve di Hylotrupes bajulus (Linnaeus) (metodo di laboratorio)
UNI EN 48	02-90	Preservanti del legno. Determinazione dell'efficacia curativa contro le larve di Anobium punctatum (De Geer) (metodo di laboratorio)
UNI EN 49-1	03-98	Preservanti del legno. Determinazione dell'efficacia protettiva contro Anobium punctatum (De Geer) mediante deposizione dì uova e sopravvivenza delle larve. Applicazione mediante trattamento superficiale (metodo di laboratorio)
UNI EN 49-2	03-98	Preservanti del legno. Determinazione dell'efficacia protettiva contro Anobium punctatum (De Geer) mediante deposizione di uova e sopravvivenza delle larve. Applicazione mediante impregnazione (metodo di laboratorio)
UNI EN 73	02-90	Preservanti del legno. Invecchiamento accelerato del legno trattato prima delle prove biologiche. Procedimento di evaporazione
UNI EN 84	09-90	Preservanti del legno. Invecchiamento accelerato del legno trattato prima delle prove biologiche. Procedimento di dilavamento
UNI EN 113	04-84	Determinazione della soglia di efficacia dei preservanti del legno contro i funghi xilofagi basidiomiceti coltivati su mezzo agar
UNI EN 113 FA 214-88	01-88	Foglio di aggiornamento n. 1 alla UNI EN 113 (apr. 1984)
UNI EN 117	03-91	Preservanti del legno. Determinazione della soglia di efficacia contro Reticulitermes santonensis (de Feytaud) (metodo di laboratorio)
UNI EN 118	05-91	Preservanti del legno. Determinazione dell'efficacia preventiva contro Reticulitermes santonensis (de Feytaud) (metodo di laboratorio)
UNI EN 152/1	05-89	Metodi di prova dei preservanti del legno. Metodo di laboratorio per determinare l'efficacia preventiva di un trattamento di protezione del legno in opera contro l'azzurramento. Applicazione con il metodo a pennello
UNI EN 152/2	06-89	Metodi di prova dei preservanti del legno. Metodo di laboratorio per determinare l'efficacia preventiva di un trattamento di protezione del legno in opera contro l'azzurramento. Applicazione con con metodi diversi dal metodo a pennello

UNI EN 212	01 -88	Preservanti del legno. Guida per il campionamento e la preparazione dei preservanti e del legno trattato per analisi
UNI EN 252	01-91	Prova in campo per determinare l'efficacia protettiva di un preservante del legno messo a contatto con il terreno
UNI EN 273	06-93	Preservanti del legno. Determinazione dell'azione curativa contro Lyctus brunneus (Stephens) (metodo di laboratorio)
UNI EN 330	06-94	Preservanti del legno. Metodo di prova in campo per la determinazione dell'efficacia protettiva di un preservante del legno da usare sotto un rivestimento e non a contatto con ii terreno: metodo con assemblaggio a L
UNI EN 370	03-98	Preservanti del legno. Determinazione dell'efficacia curativa nella prevenzione della fuoriuscita di Anobium punctatum (De Geer)
UNI ENV 807	03-98	Preservanti del legno. Determinazione dell'efficacia contro i microrganismi della carie soffice e altri organismi del suolo
UNI ENV 839	03-98	Preservanti del legno. Determinazione dell'efficacia preventiva contro i funghi basidiomiceti xilofagi
UNIEN 1014/1	09-97	Preservanti de! legno. Creosoto e legno trattato con creosoto. Metodi di campionamento e analisi. Procedura per il campionamento del creosoto
UNIEN 1014/2	09-97	Preservanti del legno. Creosoto e legno trattato con creosoto. Metodi di campionamento e analisi. Procedura per l'ottenimento di un campione di creosoto da legno trattato con creosoto per successive analisi
UNI ENV 1250-1	03-98	Preservanti del legno. Metodi per la misurazione delle perdite di principi attivi e altri principi preservanti dal legno trattato. Metodo di laboratorio per l'ottenimento di campioni per analisi per misurare le perdite mediante evaporazione all'aria
UNI ENV 1250-2	03-98	Preservanti del legno. Metodi per la misurazione delle perdite di principi attivi e altri principi preservanti dal legno trattato. Metodo di laboratorio per l'ottenimento di campioni per analisi per misurare le perdite mediante dilavamento in acqua o acqua di mare sintetica
UNI ENV 1390	10-97	Preservanti del legno. Determinazione dell'azione curativa contro le larve di Hylotrupes bajulus (Linnaeus). Metodo di laboratorio
UNÌ ENV 12.037	10-97	Preservanti del legno. Metodo di prova in campo per la determinazione dell'efficacia protettiva di un preservante del legno esposto fuori dal contatto con il terreno. Metodo dei giunti orizzontali sovrapposti
UNI HD 1001	09-87	Documento generale di introduzione ai metodi di prova europei (o CEN) dei preservanti del legno
SS UNI U40.02.234.09	01 -93	Legname per recinzioni, sostegni ed altri usi non strutturali. Trattamenti preservanti

Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno

UNI 9421	04-89	Legno. Determinazione e criteri di classificazione della durabilità naturale ai funghi basidiomiceti. Metodo di laboratorio
UNI 9422	04-89	Legno. Determinazione e criteri di classificazione della durabilità naturale ai funghi. Metodo in campi sperimentali
UNI EN 335/1	07-93	Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Definizione delle classi di rischio di attacco biologico. Generalità
UNI EN 335/2	09-93	Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Definizione delle classi di rischio di attacco biologico. Applicazione al legno massiccio
UNI EN 350/1	03-96	Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Durabilità naturale del legno massiccio. Guida ai principi di prova e classificazione della durabilità naturale del legno
UNI EN 350/2	03-96	Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Durabilità naturale del legno massiccio. Guida alla durabilità naturale e trattabilità di specie legnose scelte di importazione in Europa
UNI EN 460	04-96	Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Durabilità naturale del legno massiccio. Guida ai requisiti di durabilità per legno da utilizzare nelle classi di rischio

Segati

UNI 8198	04-81	Segati di conifere. Classificazione in base aìla resistenza meccanica
UNI 8198 FA 145-84	07-84	Foglio di aggiornamento n. 1 alla UNI 8198(apr. 1981)
UNI 8789	12-85	Legno. Segati di latifoglie. Trattamenti contro i lictidi
UNI 8828	01-86	Segati di legno. Determinazione delle tensioni interne
UNI 8829	01-86	Segati di legno. Determinazione del gradiente di umidità
UNI 8864	02-87	Segati di legno. Tecniche di essiccazione. Termini e definizioni
UNI 8939	03-87	Segati di legno. Controllo dell'umidità di un lotto

UNI 8947	09-87	Segati di legno. Individuazione e misurazione dei difetti da essiccazione
UNI 9030	09-87	Segati di legno. Qualità di essiccazione
UNI 9030 FA 1-90	03-90	Foglio di aggiornamento n. 1 alla UNI 9030 (set. 1987)
UNI ISO 737	07-84	Segati di conifere. Dimensioni. Metodi di misura
UNI ISO 1029	07-84	Segati di conifere. Difetti. Classificazione
UNI ISO 1030	07-84	Segati di conifere. Difetti. Misurazione
UNI ISO 1031	05-83	Segati di conifere. Difetti. Termini e definizioni
UNI ISO 1032	05-83	Segati di conifere. Dimensioni. Termini e definizioni
UNI ISO 2299	05-83	Segati di conifere. Difetti. Classificazione
UNI ISO 2300	05-83	Segati di latifoglie. Difetti. Termini e definizioni
UNI ISO 2301	07-84	Segati di latifoglie. Difetti. Misurazione
UNI ISO 4476	03-88	Toppi da sega di conifere e latifoglie. Dimensioni. Terminologia
UNI ISO 4480	09-89	Toppi da sega di conifere. Misurazione delle dimensioni e determinazione del volume

Pannelli a base di legno

Pannelli a base di legno in generale

UNI EN 120	02-95	Pannelli a base di legno. Determinazione del contenuto di formaldeide. Metodo di estrazione detto metodo perforatore
UNI EN 310	05-94	Pannelli a base di legno. Determinazione del modulo di elasticità a flessione e della resistenza a flessione
UNI EN 322	07-94	Pannelli a base di legno. Determinazione dell'umidità
UNI EN 323	09-94	Pannelli a base di legno. Determinazione della massa volumica
UNI EN 324/1	10-94	Pannelli a base di legno. Determinazione delle dimensioni dei pannelli. Determinazione di spessore, larghezza e lunghezza
UNI EN 324/2	10-94	Pannelli a base di legno. Determinazione delle dimensioni dei pannelli. Determinazione dell'ortogonalità e della rettilineità dei bordi
UNI EN 325	07-94	Pannelli a base di legno. Determinazione delle dimensioni dei provini
UNI EN 326/1	04-95	Pannelli a base di legno. Campionamento, taglio e collaudo. Campionamento e taglio dei provini ed espressione dei risultati di prova
UNI EN 717/2	09-96	Pannelli a base di legno. Determinazione del rilascio di formaldeide. Rilascio di formaldeide con il metodo dell'analisi del gas
UNI EN 717/3	05-97	Pannelli a base di legno. Determinazione del rilascio di formaldeide. Rilascio di formaldeide con il metodo dell'emissione in vaso
UNI EN 1058	04-97	Pannelli a base di legno. Determinazione dei valori caratteristici delle proprietà meccaniche e della massa volumica

Pannelli a base di legno compensato

UNI 6467	07-69	Pannelli dì legno compensato e panforti. Termini e definizioni
UNI 6467 FA 58-74	04-74	Fogiio di aggiornamento alla UNI 6467 (set. 1969)
UNI 6480	07-69	Pannelli di legno compensato. Prova di trazione
UNI 6482	07-69	Pannelli di legno compensato. Prova di impatto
UNI 6483	07-69	Pannelli di legno compensato. Prova di piegamento
UNI EN 313/1	05-97	Pannelli di legno compensato. Classificazione e terminologia. Classificazione
UNI EN 313/2	02-97	Pannelli di compensato. Classificazione e terminologia. Terminologia
UNI EN 314/1	06-94	Pannelli dì legno compensato. Qualità dell'incollaggio. Metodi di prova
UNI EN 314/2	06-94	Pannelli di legno compensato. Qualità dell'incollaggio. Requisiti
UNI EN 315	04-94	Pannelli di legno compensato. Tolleranze dimensionali
UNI EN 635/1	06-96	Pannelli di legno compensato. Classificazione in base all'aspetto delle facce. Generalità
UNI EN 635/2	06-96	Pannelli di iegno compensato. Classificazione in base all'aspetto delle facce. Latifoglie
UNI EN 635/3	06-96	Pannelli di legno compensato. Classificazione in base all'aspetto delle facce. Conifere
UNI ENV 635/4	07-97	Pannelli di legno compensato. Classificazione in base all'aspetto deile facce. Parametri di attitudine alla finitura. Linee guida
UNI EN 636/1	09-97	Pannelli di legno compensato. Specifiche. Requisiti dei pannelli di legno compensato per uso in ambiente secco
UNI EN 636/2	09-97	Pannelli di legno compensato. Specifiche. Requisiti dei pannelli di legno compensato per uso in ambiente umido
UNI EN 636/3	09-97	Pannelli di legno compensato. Specifiche. Requisiti dei pannelli di legno compensato per uso in ambiente esterno

UNI EN 1072	04-97	Pannelli di legno compensato. Descrizione delle proprietà di flessione per pannelli di legno compensato per uso strutturale
UNI EN 1084	04-97	Pannelli di legno compensato. Classi di rilascio dì formaldeide determinate con il metodo dell'analisi del gas

Pannelli di fibra e di particelle di legno

UNI 3748	04-56	Prove sui pannelli di fibre di legno. Prova di compressibilità
UNI 4370	11-59	Prove sui pannelli di fibre di legno. Prova di resistenza alla tensione elettrica
UNI 4371	11-59	Prove sui pannelli dì fibre di legno. Determinazione della resistenza elettrica tra spine
UNI 9714	04-90	Pannelli a base di legno. Pannelli di lana di legno. Tipi, caratteristiche e prove
UNI EN 309	07-93	Pannelli di particelle di legno. Definizione e classificazione
UNI EN 311	07-93	Pannelli di particelle di legno. Resistenza al distacco degli strati esterni dei pannelli di particelle. Metodo di prova
UNI EN 312/1	07-97	Pannelli di particelle di legno. Specifiche. Requisiti generali di tutti i tipi di pannelli
UNI EN 312/2	07-97	Pannelli di particelle di legno. Specifiche. Requisiti dei pannelli per uso generale in ambiente secco
UNI EN 312/3	07-97	Pannelli di particelle di legno. Specifiche. Requisiti dei pannelli. Requisiti dei pannelli per allestimenti interni (inclusi i mobili) per uso in ambiente secco
UNI EN 312/4	07-97	Pannelli di particelle di legno. Specifiche. Requisiti dei pannelli portanti per uso in ambiente secco
UNI EN 312/6	07-97	Pannelli di particelle di legno. Specifiche. Requisiti dei pannelli portanti per carichi pesanti per uso in ambiente secco
UNI EN 316	07-94	Pannelli di fibra di legno. Definizione, classificazione e simboli
UNI EN 317	07-94	Pannelli di particelle di legno e pannelli di fibra di legno. Determinazione del rigonfiamento dello spessore dopo immersione in acqua
UNI EN 318	10-94	Pannelli di fibra di legno. Determinazione delle variazioni dimensionali associate a variazioni di umidità relativa
UNI EN 319	07-94	Pannelli di particelle di legno e pannelli di fibra di legno. Determinazione della resistenza a trazione perpendicolare al piano del pannello
UNI EN 320	05-94	Pannelli di fibra di legno. Determinazione della resistenza all'estrazione assiale delle viti
UNI EN 321	07-94	Pannelli di fibra di legno. Prove cicliche in ambiente umido
UNI EN 382/1	10-94	Pannelli di fibra di legno. Determinazione dell'assorbimento superficiale. Metodo di prova per pannelli di fibra di legno prodotti per via secca
UNI EN 382/2	07-95	Pannelli di fibra di legno. Determinazione dell'assorbimento superficiale. Metodo di prova per pannelli duri
UNI EN 633	07-94	Pannelli di particelle di legno legate con cemento. Definizione e classificazione
UNI EN 634/1	02-97	Pannelli di particelle di legno legate con cemento. Specifiche. Requisiti generali
UNI EN 634/2	07-97	Pannelli di particelle di legno legate con cemento. Specifiche. Requisiti dei pannelli di particelle di legno legate con cemento Portland ordinario per uso in ambiente secco, umido e all'esterno
UNI EN 1087/1	02-97	Pannelli di particelle di legno. Determinazione della resistenza all'umidità. Prova in acqua bollente
UNI EN 1128	05-97	Pannelli di particelle di legno legate con cemento. Determinazione della resistenza agli urti da corpo duro
UNI EN 1328	07-97	Pannelli di particelle di legno legate con cemento. Determinazione della resistenza al gelo

Semilavorati di legno

UNI 4712	03-61	Prove sul legno. Prova d'impronta sul legno per pavimentazione
UNI 4873	12-61	Perline di legno semplici, a battuta
UNI 4874	12-61	Perline di legno semplici, ad incastro
UNI 4875	12-61	Perline di legno doppie, ad incastro
UNI 8131	10-80	Edilizia. Rivestimenti di legno per pavimentazioni. Terminologia
UNI 8795	10-85	Legno. Semilavorati e prodotti finiti. Scelta dei trattamenti di impregnazione profonda
UNI 9339	07-88	Blocchetti di legno per pavimentazioni. Caratteristiche e controlli
UNI 10.396	09-94	Legno multilaminare. Termini e definizioni
UNI 10.494	10-95	Legno multilaminare. Determinazione delle caratteristiche fisiche
UNI 10.578	02-97	Legno. Piallacci naturali e naturali trattati. Termini e definizioni
UNI 10.601	03-97	Legno multilaminare. Difetti: termini, definizioni e cause principali
UNI 10.602	03-97	Legno multilaminare. Tolleranze sulle dimensioni
SS UNI U40.05.258.0	04-97	Elementi di legno di latifoglie per rivestimenti di pavimentazioni. Classificazione in base ai difetti

UNI EN 386	03-97	Legno lamellare incollato. Requisiti prestazionali e requisiti minimi di produzione
UNI EN 390	03-97	Legno lamellare incollato. Dimensioni. Scostamenti ammissibili
UNI EN 391	06-97	Legno lamellare incollato. Prova di delaminazione delle superfici di incollaggio
UNI EN 392	03-97	Legno lamellare incollato. Prova di resistenza a taglio delle superfici di incollaggio
UNI ISO 5329	09-87	Blocchetti di legno per pavimentazioni. Terminologia

Strutture di legno e prodotti di legno per impiego strutturale

UNI EN 336	03-97	Legno strutturale. Conifere e pioppo. Dimensioni, scostamenti ammissibili
UNI EN 338	03-97	Legno strutturale. Classi di resistenza
JNI EN 380	07-94	Strutture di legno. Metodi di prova. Principi generali per le prove con carico statico
UNI EN 383	07-94	Strutture di legno. Metodi di prova. Determinazione della resistenza al rifollamento e dei moduli locali di rigidezza per elementi di collegamento di forma cilindrica
UNI EN 384	03-97	Legno strutturale. Determinazione dei valori caratteristici delle proprietà meccaniche e della massa volumica
UNI EN 385	03-97	Legno strutturale con giunti a dita. Requisiti prestazionali e requisiti minimi di produzione
UNI EN 408	04-97	Strutture di legno. Legno massiccio e legno lamellare incollato. Determinazione di alcune proprietà fisiche e meccaniche
UNI EN 409	07-94	Strutture di legno. Metodi di prova. Determinazione del momento di snervamento degli elementi meccanici di collegamento di forma cilindrica. Chiodi
UNI EN 518	03-97	Legno strutturale. Classificazione. Requisiti per le norme di classificazione a vista secondo la resistenza
UNI EN 519	03-97	Legno strutturale. Classificazione. Requisiti per il legno classificato a macchina secondo la resistenza e per le macchine classificatrici
UNI EN 594	04-97	Strutture di legno. Metodi di prova. Resistenza e rigidezza di piastra di pannelli per pareti con telaio di legno
[illegible] EN595	03-97	Strutture di legno. Metodi di prova. Prova delle capriate per la determinazione della resistenza del comportamento a deformazione
[illegible] EN596	09-97	Strutture di legno. Metodi di prova. Prova di impatto con un corpo morbido su pareti con telaio di legno
UNI EN 789	04-97	Strutture di legno. Metodi di prova. Determinazione di proprietà meccaniche di pannelli a base di legno
UNI ENV 1991-1	10-96	Eurocodice 1, Basi di calcolo ed azioni sulle strutture. Parte 1 : Basi di calcolo
UNI ENV 1991-2-1	10-96	Eurocodice 1. Basi di calcolo ed azioni sulle strutture. Parte 2-1 : Azioni sulle strutture. Massa volumica, pesi propri e carichi imposti
UNI ENV 1991-2-2	04-97	Eurocodice 1. Basi di calcolo ed azioni sulle strutture. Parte 2-2: Azioni sulle strutture. Azioni sulle strutture esposte al fuoco
UNI ENV 1991-2-3	10-96	Eurocodice 1. Basi di calcolo ed azioni sulle strutture. Parte 2-3: Azioni sulle strutture. Carichi da neve
UNI ENV 1991-2-4	03-97	Eurocodice 1. Basi di calcolo ed azioni sulle strutture, Parte 2-4: Azioni sulle strutture. Azioni del vento
UNI ENV 1995-1-1	02-95	Eurocodice 5. Progettazione delle strutture di legno. Parte 1 -1 : Regole generali e regole per gli edifici
UNI ENV 1995-1-2	11-96	Eurocodice 5. Progettazione di strutture di legno. Parte 1 -2: Regole generali. Progettazione strutturale contro l'incendio
UNI ENV 1998-1-1	10-97	Eurocodice 8. Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture. Parte 1 -1 : Regole generali. Azioni sismiche e requisiti generali per le strutture
UNI ENV 1998-1-2	10-97	Eurocodice 8. Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture. Parte 1 -2: Regole generali per gli edifici
UNI ENV 1998-1-3	01-98	Eurocodice 8. Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture. Parte 1-3: Regole generali, Regole specifiche per i diversi materiali ed elementi
UNI EN 26.891	09-91	Strutture di legno. Assemblaggi realizzati tramite elementi meccanici di collegamento. Principi generali per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità
UNI EN 28.970	12-91	Strutture di legno. Prova degli assemblaggi realizzati tramite elementi meccanici di collegamento. Prescrizioni relative alla massa volumica del legno
SSUNIU40.06.198.0	07-89	Strutture di legno. Legno massiccio in dimensioni d'uso strutturale. Determinazione di alcune proprietà fisiche e meccaniche

Mezzi di collegamento, utensili

Adesivi per legno

UNI 9594	04-90	Adesivi. Determinazione del tempo aperto massimo di adesivi per legno mediante prove di taglio per trazione

UNI 9595	04-90	Adesivi. Determinazione della rapidità di presa a freddo di adesivi per legno mediante prove di taglio per trazione
UNI EN 301	06-93	Adesivi fenolici e amminoplastici per strutture portanti in legno. Classificazione e requisiti prestazionali
UNI EN 302/1	06-93	Adesivi per strutture portanti in legno. Metodi di prova. Determinazione della resistenza del giunto al taglio a trazione longitudinale
UNI EN 302/2	06-93	Adesivi per strutture portanti in legno. Metodi di prova. Determinazione della resistenza alla delaminazione (metodo di laboratorio)
UNI EN 302/3	06-93	Adesivi per strutture portanti in legno. Metodi di prova. Determinazione dell'effetto dell'attacco acido alle fibre del legno, dovuto ai trattamenti ciclici di temperatura e umidità, sulla resistenza alla trazione trasversale
UNI EN 302/4	06-93	Adesivi per strutture portanti in legno. Metodi di prova. Determinazione dell'effetto del ritiro del legno sulla resistenza al taglio
UNI EN 29.653	04-95	Adesivi. Metodo per la determinazione del potere adesivo mediante prova di resistenza al taglio

Viti per legno

UNI 699	11-80	Viti per legno. Filettatura ed estremità
UNI 701	11-80	Viti per legno a testa tonda con intaglio
UNI 702	11 -80	Viti per legno a testa svasata piana con intaglio
UNI 703	11 -80	Viti per legno a testa svasata con calotta ed intaglio
UNI 704	11 -80	Viti per legno a testa esagonale
UNI 3153	08-51	Viti per legno a testa tonda, per costruzioni
UNI 8180	11-80	Viti per legno a testa bombata con impronta a croce
UNI 8181	11-80	Viti per legno a testa svasata piana con impronta a croce
UNI 8182	11-80	Viti per legno a testa svasata con calotta ed impronta a croce

Utensili per la lavorazione del legno

UNI 5482	12-64	Raspe. Termini e definizioni
UNI 5483	12-64	Raspe. Caratteristiche generali
UNI 5484	12-64	Lime e raspe. Densità di taglio e numero intagli
UNI 5485	12-64	Lime e raspe. Lunghezze e sezioni trasversali
UNI 5486	12-64	Lime e raspe. Prospetto dei tipi unificati
UNI 5521	12-64	Raspe. Piatte a punta
UNI 5522	12-64	Raspe. Piatte
UNI 5523	12-64	Raspe. Mezzo tonde
UNI 5524	12-64	Raspe. Mezzo tonde sottili
UNI 5525	12-64	Raspe. Tonde
UNI 5526	12-64	Raspe, Per maniscalco
UNI 5527	12-64	Raspe. Mezzo tonde per calzolaio
UNI 5528	12-64	Raspe. Forette
UNI 5666	10-65	Lime ad ago, lime e raspe doppie curve, lime per contatti e lime per macchina a sezione ridotta. Lunghezze e sezioni trasversali
UNI 5667	10-65	Lime ad ago, lime e raspe doppie curve e lime per contatti. Densità di taglio e numeri intagli
UNI 5668	10-65	Lime ad ago, lime e raspe doppie curve, lime per contatti e lime per meccanica a sezione ridotta. Prospetto dei tipi unificati
UNI 5671	10-65	Lime e raspe doppie curve
UNI 6218	05-68	Lime e raspe rotative. Caratteristiche generali
UNI 6219	05-68	Lime e raspe rotative. Densità e passi di taglio
UNI 6220	05-68	Lime e raspe rotative. Prospetto dei tipi unificati
UNI 6221	05-68	Lime e raspe rotative cilindriche con codolo
UNI 6222	05-68	Lime e raspe rotative sferiche con codolo
UNI 6223	05-68	Lime e raspe rotative coniche con codolo
UNI 6225	05-68	Lime e raspe rotative ad ogiva con codolo
UNI 6226	05-68	Lime e raspe rotative ad ogiva con codolo
UNI 6229	05-68	Lime e raspe rotative cilindriche con foro filettato
UNI 6230	05-68	Lime e raspe rotative sferiche con foro filettato
UNI 6231	05-68	Lime e raspe rotative coniche con foro filettato
UNI 6233	05-68	Lime e raspe rotative ad ogiva con foro filettato
UNI 6234	05-68	Lime e raspe rotative ad ogiva con foro filettato
UNI ISO 3295	11-81	Lame strette per seghe a nastro da legno. Dimensioni

Reazione al fuoco e resistenza all'incendio

UNI 7557	07-76	Materiali da costruzione. Determinazione del potere calorifico
JNI 7677	05-77	Prove al fuoco. Termini e definizioni
UNI 7678	05-77	Elementi costruttivi. Prove di resistenza al fuoco
UNI 7678 FA 100-83	04-83	Foglio di aggiornamento n. 1 alla UNI 7678 (mag. 1977)
UNI 8456	10-87	Materiali combustibili suscettibili di essere investiti dalla fiamma su entrambe le facce. Reazione al fuoco mediante l'applicazione di una piccola fiamma
UNI 8457	10-87	Materiali combustibili suscettibili di essere investiti dalla fiamma su una sola faccia. Reazione al fuoco mediante l'applicazione di una piccola fiamma
UNI 8457 FA 1-96	05-96	Foglio di aggiornamento n. 1 alla UNI 8457 (ott. 1987)
UNI 9174	11-87	Reazione al fuoco dei materiali sottoposti all'azione di una fiamma d'innesco in presenza di calore radiante
UNI 9174 FA 1-96	05-96	Foglio di aggiornamento n. 1 alla UNI 9174 (nov, 1987)
UNI 9176	01-98	Preparazione dei materiali per l'accertamento delle caratteristiche di reazione al fuoco
UNI 9177	10-87	Classificazione di reazione al fuoco dei materiali combustibili
UNI 9504	04-89	Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di legno
UNI 9742	12-90	Valutazione della deformazione ciclica progressiva in componenti esposti ad elevata temperatura in presenza di sisma
UNI 9796	01-98	Reazione al fuoco dei prodotti verniciarti ignifughi applicati su materiali legnosi. Metodo di prova e classificazione
UNI 9796:1990/A1	05-96	Foglio di aggiornamento alla UNI 9796 (ott. 1990)
UNI ISO 1182	12-95	Prove al fuoco. Prodotti edilizi. Prova di non combustibilità

Regole tecniche

Requisiti e controlli di prodotti e materiali legnosi

Decreto Ministeriale 30 ottobre 1912
Norme e condizioni per le prove e per l'accettazione dei legnami

Direttiva del Consiglio delle Comunità Europee 21 dicembre 1988, n. 89/106/CEE
Ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati membri concernenti i prodotti da costruzione

Decreto del Presidente della Repubblica 21 aprile 1993, n. 246
Regolamento di attuazione della direttiva 89/106/CEE relativa ai prodotti da costruzione

Decreto del Presidente della Repubblica 10 dicembre 1997, n. 499
Regolamento recante norme di attuazione della direttiva 93/68/CEE per la parte che modifica la direttiva 89/106/CEE in materia di prodotti da costruzione

Strutture di legno e prodotti di legno per impiego strutturale

Decisione della Commissione delle Comunità Europee 17 febbraio 1997, n. 97/176/CE
Procedura per l'attestazione di conformità dei prodotti da costruzione, a norma dell'articolo 20, paragrafo 2 della direttiva 89/106/CEE del Consiglio, riguardo ai prodotti di legno per impiego strutturale e componenti ausiliari

Decisione della Commissione delle Comunità Europee 19 settembre 1997, n. 97/638/CE
Procedura per l'attestazione di conformità dei prodotti da costruzione, a norma dell'articolo 20, paragrafo 2 della direttiva 89/106/CEE del Consiglio, riguardo ai dispositivi di fissaggio per prodotti di legno per impiego strutturale

Comportamento al fuoco. Prevenzione incendi

Prevenzione incendi

Decreto del Presidente della Repubblica 27 aprile 1955, n. 547
Prevenzione incendi

Decreto del Presidente della Repubblica 26 maggio 1959, n. 689
Determinazione delle aziende e lavorazioni soggette, ai fini della prevenzione degli incendi, al preventivo esame ed al collaudo del comando dei Vigili del Fuoco

Decreto Ministeriale 16 febbraio 1982
Modificazioni al Decreto Ministeriale 27 settembre 1965, concernente la determinazione delle attività soggette alle visite di prevenzione incendi

Circolare del Ministero dell'Interno 20 novembre 1982, n. 52
Decreto Ministeriale 16 febbraio 1982 e Decreto del Presidente della Repubblica 29 luglio 1982 - Chiarimenti

Decreto Ministeriale 27 marzo 1985
Modificazioni al Decreto Ministeriale 16 febbraio 1982, contenente l'elenco dei depositi e industrie pericolosi soggetti alle visite e controlli di prevenzione incendi

Circolare del Ministero dell'Interno 11 dicembre 1985, n. 36
Prevenzioni incendi: chiarimenti interpretativi di vigenti disposizioni e pareri espressi dal Comitato Centrale Tecnico Scientifico per la prevenzione incendi su questioni e problemi di prevenzione incendi

Decreto Ministeriale 30 ottobre 1986
Modifiche al Decreto Ministeriale 27 marzo 1985 recante modifiche al Decreto Ministeriale 16 febbraio 1982 contenente l'elenco dei depositi e industrie pericolosi soggetti alle visite e controlli di prevenzione incendi

Circolare del Ministero dell'Interno 17 dicembre 1986
Chiarimenti interpretativi di questioni e problemi di prevenzione incendi

Decreto del Presidente della Repubblica 29 luglio 1982, n. 577
Approvazione del Regolamento concernente l'espletamento dei servizi di prevenzione e di vigilanza antincendio

Circolare del Ministero dell'Interno 7 ottobre 1982 n. 46
Decreto del Presidente della Repubblica 29 lu glio 1982 - Indicazioni applicative delle norme

Circolare del Ministero dell'Interno 20 novembre 1982, n. 52
Decreto Ministeriale 16 febbraio 1982 e Decreto del Presidente della Repubblica 29 luglio 1982 - Chiarimenti

Decreto Ministeriale 16 novembre 1983
Elenco delle attività soggette, nel campo dei rischi di incidenti rilevanti, all'esame degli ispe tori regionali o interregionali del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco ai sensi dell'art. 19 del Decreto del Presidente della Repubblica 29 luglio 1982, n. 577

Circolare del Ministero dell'Interno 21 luglio 1984, n. 23/1
Decreto Ministeriale 16 novembre 1983 - Note esplicative

Decreto Ministeriale 2 agosto 1984
Norme e specificazioni per la formulazione de rapporto di sicurezza ai fini della prevenzione incendi nelle attività a rischio di incidenti rilevanti di cui al Decreto Ministeriale 16 novembr 1983

Decreto Ministeriale 11 giugno 1986
Modificazioni al Decreto Ministeriale 2 agosto 1984 recante norme e specificazioni per la formulazione del rapporto di sicurezza ai fini della prevenzione incendi nelle attività a rischio di incidenti rilevanti di cui al Decreto Ministeriale 16 novembre 1983

Decreto Ministeriale 20 giugno 1986, n. 16
Linee guida per la formulazione del rapporto di sicurezza ai fini della prevenzione incendi di cui al Decreto Ministeriale 2 agosto 1984 e successive modificazioni contenute nel Decreto Ministeriale 11 giugno 1986

Decreto Ministeriale 9 luglio 1988
Modificazioni al Decreto Ministeriale 16 novembre 1983, concernente l'elenco delle at-

tività soggette, nel campo dei rìschi di incidenti rilevanti, all'esame degli ispettori regionali o interregionali del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco ai sensi dell'art. 19 del Decreto del Presidente della Repubblica 29 luglio 1982, n. 577

Circolare del Ministero dell'Interno 20 aprile 1990, n. 9
Attività di prevenzione di incendi nel settore dei rischi di incidenti rilevanti. Quesito nella corretta classificazione delle attività dì imbottigliamento di G.P.L.

Decreto Ministeriale 17 dicembre 1991
Modificazioni al Decreto Ministeriale 16 novembre 1983 concernente l'elenco delle attività soggette, nel campo dei rischi di incidenti rilevanti, all'esame degli ispettori regionali o interregionali del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco ai sensi dell'art. 19 del Decreto del Presidente della Repubblica 29 luglio 1982, n. 577 e al successivo Decreto Ministeriale 9 luglio 1988

Decreto Ministeriale 30 novembre 1983
Termini, definizioni generali e simboli grafici di prevenzione incendi

Legge 7 dicembre 1984, n. 818
Nullaosta provvisorio per le attività soggette ai controlli di prevenzione incendi, modifica degli articoli 2 e 3 della Legge 4 marzo 1982 e norme integrative dell'ordinamento del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco

Decreto Ministeriale 8 marzo 1985
Direttive sulle misure più urgenti ed essenziali di prevenzione incendi ai fini del rilascio del nullaosta provvisorio di cui alla Legge 7 dicembre 1984, n. 818

Decreto Ministeriale 25 marzo 1985
Procedure e requisiti per l'autorizzazione e l'iscrizione dei professionisti negli elenchi del Ministero dell'Interno di cui alla Legge 7 dicembre 1984, n. 818

Decreto Ministeriale 26 marzo 1985
Procedure e requisiti per l'autorizzazione e l'iscrizione di enti e laboratori negli elenchi del Ministero dell'Interno di cui alla Legge 7 dicembre 1984, n.818

Decreto Legge 21 giugno 1985, n. 288
Proroga del termine previsto dall'articolo 1, ultimo comma, della Legge 7 dicembre 1984, n. 818

Decreto Ministeriale 14 agosto 1985
Proroga dei termini di cui ai punti 4 e 5 dell'art. 2 del Decreto Ministeriale 8 marzo 1985

Decreto Legge 27 febbraio 1957
Proroga di alcuni termini in materia di nullaosta provvisorio dì prevenzione incendi

Circolare del Ministero dell'Interno 30 settembre 1989, n. 19
Validità delle certificazioni e delle dichiarazioni rilasciate da professionisti nel settore della prevenzione incendi

Circolare del Ministero dell'Interno 21 novembre 1990, n. 32
Iscrizione professionisti negli elenchi del Ministero dell'Interno di cui alla Legge 7 dicembre 1984

Legge 20 maggio 1991, n. 158
Differimento di termini previsti da disposizioni legislative

Decreto Legge 30 aprile 1992, n. 274
Differimento di termini previsti da disposizioni legislative ed altre disposizioni urgenti

Decreto Legge 2 marzo 1993, n. 48
Disposizioni urgenti in materia di differimento di termini previsti da disposizioni legislative

Decreto Ministeriale 30 aprile 1993
Pubblicazione degli elenchi dei professionisti di cui alla Legge 7 dicembre 1984

Decreto Ministeriale 16 maggio 1987, n. 246
Norme di sicurezza antincendio per gli edifici di civile abitazione

Decreto Legislativo 19 settembre 1994, n. 626
Adempimenti di prevenzione e protezione antincendi

Circolare del Ministero dell'Interno 29 agosto 1995, n. P1564/4146
Decreto Legislativo 19 settembre 1994, n. 626. Adempimenti di prevenzione e protezione antincendi. Chiarimenti

Strutture portanti di legno

Decreto Ministeriale 6 marzo 1986
Calcolo del carico di incendio per locali aventi strutture portanti di legno

Classificazione di reazione e resistenza al fuoco

Decreto Ministeriale 26 giugno 1984
Classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi

Circolare del Ministero dell'Interno 22 novembre 1984, n. 39
Certificazioni sulla classificazione di reazione al fuoco dei materiali Decreto Ministeriale 26 giugno 1984

Decreto Ministeriale 14 gennaio 1985
Attribuzione ad alcuni materiali della classe di reazione al fuoco 0 (zero) prevista dall'allegato A1.1 al Decreto Ministeriale 26 giugno 1984 "Classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi"

Decreto Ministeriale 4 febbraio 1985
Norme transitorie sull'uso di materiali classificati per la reazione al fuoco in data antecedente all'entrata in vigore del Decreto Ministeriale 26 giugno 1984

Circolare del Ministero dell'Interno 21 settembre 1985, n.27
Caratteristiche non essenziali di omologazione nel campo della reazione al fuoco. Estensione delle omologazioni

Decreto Ministeriale 5 agosto 1991
Commercializzazione ed impiego in Italia dei materiali destinati all'edilizia legalmente riconosciuti in uno dei Paesi CEE sulla base delle norme di reazione al fuoco

Decreto Ministeriale 6 marzo 1992
Norme tecniche e procedurali per la classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei prodotti vernicianti ignifughi applicati sui materiali legnosi

Circolare del Ministero dell'Interno 7 luglio 1992, n. 14/MI.SA
Decreto Ministeriale 6 marzo 1992 - Norme tecniche e procedurali per la classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei prodotti vernicianti ignifughi applicati sui materiali legnosi

Decreto Ministeriale 14 dicembre 1993
Norme tecniche e procedurali per la classificazione di resistenza al fuoco ed omologazione di porte ed altri elementi di chiusura

Decreto Ministeriale 27 dicembre 1995
Differimento del termine previsto dal primo comma dell'art. 10 del Decreto Ministeriale 14 dicembre 1993 concernente "Norme tecniche procedurali per la classificazione di resistenza al fuoco ed omologazione di pone ed altri elementi di chiusura"

Circolare del Ministero dell'Interno 2 aprile 1991, n. 7
Aggiornamento delle certificazioni rilasciate dal Centro Studi ed Esperienze e dai laboratori ufficiali autorizzati dal Ministero dell'Interno, in applicazione della norma CNWF-CCI UNI 9723

Bibliografia

AA.W, 1992-95, *Manuale di progettazione edilizia,* 6 voli, in 7 tomi, Hoepli, Milano.

AA.W., 1994, *Nuovo Gasparrelli. Manuale del geometra,* Hoepli, Milano.

AA.W, 1995, *Construction à ossature bois,* Eyrolles, Parigi.

AA.W, 1997, *Nuovo Colombo. Manuale dell'ingegnere,* Hoepli, Milano.

Benedetti C, Bacigalupi V, 1991, *Legno architettura: il futuro della tradizione,* Kappa, Roma.

Berruti G., Ratti C, 1988, *Il compensato curvato. I progetti e i progettisti italiani,* Rima, Milano.

Bramwell M. (a cura di), 1989, *Il libro internazionale del legno,* PEG, Milano.

Carbonara R, 1984-92, *Architettura pratica,* 6 voli, in 10 tomi più 2 voli, di aggiornamento, Utet, Torino.

Caterina G., 1989, *Tecnologia del recupero edilizio,* Utet, Torino.

Cenci G., 1980, *Strutture in legno,* Meta, Milano.

Cenci G., 1987, *Strutture in legno. Calcolo e costruzione con riferimento alla DIN 1052,* Palutan, Varese.

Collura M., 1968, *Architettura del legno,* Lo Monaco, Palermo.

Daguzé D., 1994, *Progettazione delle strutture in legno lamellare,* PEG, Milano.

De Angelis A., 1993, *Progettazione e calcolo delle strutture in legno lamellare,* DEI-Tipografia del Genio civile, Roma.

Frattari A., 1980, *Evoluzione delle costruzioni in legno perla residenza,* ESA, Milano.

Frattari A., Garofolo I., 1996, *Architettura e tecnica degli edifici in legno. Procedimenti e setti portanti,* Saturnia, Roncafort (TN).

Gambetta A., s.d., *Biodegradamento e trattamento dei manufatti in legno,* CNR, Roma.

Gauzin-Müller D., 1990, *Le bois dans la construction,* Le Moniteur, Parigi.

Giordano G., 1964, *La moderna tecnica delle costruzioni in legno,* Hoepli, Milano.

Giordano G., 1981-88, *Tecnologia del legno,* 3 voli, in 5 tomi, Utet, Torino.

Giordano G., 1997, *Antologia del legno,* 2 voli., Consorzio Legno-Legno, Reggio Emilia.

Kùttinger, 1986, *Esempi di costruzioni in legno. Strutture di copertura, padiglioni a grandi luci, ponti,* Palutan. Varese.

Mancia M., 1993, *Il benessere climatico negli edifici,* NIS, Roma.

Marano A., 1994, *Legno e metallo. Soluzioni costruttive nell'uso combinato di materiali diversi,* Angeli, Milano.

Marchegiani S., Roda R., 1991, *Edilizia residenziale a basso consumo energetico,* Alinea, Firenze.

Marchi N., 1985, *Tecnologia del legno,* Marsilio, Venezia.

Moruzzi Arch Legno SpA, s.d., *Architettura del legno,* Lavis (Trento).

Munafò R, 1990, *Recupero dei solai in legno,* Flaccovio, Palermo.

Offenstein F, 1995, *Compatibilità dei materiali. Come associare i materiali da costruzione,* Utet, Torino.

Palutan E., 1977, *Le costruzioni in legno lamellare incollato,* Meta, Milano.

Palutan E, s.d., *Monografie dei legni,* Meta, Milano.

Picone M., 1984, *Tecnologia della produzione edilizia,* Utet, Torino.

Ruffino M., Musso L, 1982, *Il legno lamellare incollato: guida alla progettazione,* Clut, Torino.

Sacchi A., Caglieris G., 1996, *Fisica tecnica,* 2 voli., Utet, Torino,

Scott E., 1980, *Lavorare il legno,* Zanichelli, Bologna.

Signorato A. e D., 1994, *Strutture in legno. Tetti, scale, serramenti,* Maggioli, Rimini,

SNCCBLC, 1990, *Charpentes en bois lamellé-collé,* Eyrolles, Parigi,

Tampone G. (a cura di), 1989, *// restauro del legno,* Nardini, Firenze.

Toni M., 1996, *E isolamento acustico nell'edilizia.* Edilstampa, Roma.

Turco T.A., 1969, *Coloritura, verniciatura e laccatura del legno,* Hoepli, Milano.

Wachsmann K., 1992, *Holzhausbau. Costruzioni in legno: tecnica e forma,* Guerini e Associati, Milano.

Fonti iconografiche

L'editore ringrazia vivamente tutti coloro che hanno concesso la riproduzione dei loro progetti e hanno collaborato alla realizzazione di questa opera. Tutti i disegni sono stati eseguiti appositamente. Le fotografie non documentate provengono dagli archivi degli architetti nominati nell'indice dei nomi, dagli autori e dagli archivi della rivista DETAIL.
Le cifre si riferiscono ai numeri delle illustrazioni.

A Century of Chair Design; Verlag Rizzoli, N.Y(p 15: 3)
Anspach Hotzbau, Mainz (p. 194)
Altee, Helsinki, SF (p. 15: 1)
Bäckmann, R., Helsinki, SF (p. 13)
Bertin, F, Grandvaux, F (p. 336)
Bildarchiv Deutsches Museum, Monaco (p. 16)
Bildarchiv Mùnchner Stadtmuseum (p. 15: 4)
Blaser W., Zurigo (p. 17: 4)
Buchacher Holzleimbau, Hermagor, A (p. 198)
Carrascosa, R, Wettingen (p. 337)
Couturier, S., Parigi, F (p. 29: 2, 6)
CTBA, Parigi, F (S.334 rechts)
Eigstler, S., Thun, Svizzera (p. 19: 1 ; p. 190)
Gagern, V. von, Monaco (p. 340 in alto)
Gardin, G. B., Genova, I (p. 29: 1,3-5; p. 161; p. 321)
Gerle, J., Budapest, H (p. 25: 3)
Giraudon, Parigi, F (p. 21: 2)
Görner, R., Berlino (p. 340 in basso a destra)
Götz, M., Stoccarda (p.183)
Gongalves, M. (p. 279)
Habermann, K. J., Monaco (p. 338)
Hansen, H. J, Gràfelfing (p. 17: 1; p. 20: 4; p. 21: 5)
Herzog-Loibl, V, Monaco (p. 16:4,5; p. 17:3; p. 18: 1,2, 3, 5; p. 19: 3; p. 20: 3; p. 21: 3; p. 23: 3; p. 315)
Hirschbrunner, U., Aschau (p. 222)
Hursley, T„ Little Rock, USA (p. 154)
Ishimoto, Y., Tokyo, J (p. 26)
Kandzia, Chr., Esslingen (p. 306)
Kernchen, K., Ingolstadt (p. 284)
Krowinkel H. W., Bòblingen (p. 171 in basso)
Krupp, B, Friburgo (p. 260)
Leenders, R, Niederkrùchten (p. 230)
Leiska, H., Amburgo (p. 215 in alto)
Leistner, D., Mainz (p. 31: 4, 5; p. 253; p. 333; p. 341)
Löchner, K., Wolpertshausen (p. 181 in basso)
Lüttge, Th.; Ascholding (p. 286; 287)
Luft, G„ Felldorf (p. 16:3)
Monthiers, J.-M., Parigi, F (p. 335)
Neubert, S., Monaco (p. 163; 192; 213; 304: 305)
Ogawa, T., Tokyo, J (p. 257)
Pfistermeister, U., Artelshofen (p. 20: 2, 5)
Preiss & Co., Monaco-Ismaning (p. 21: 1)
Presseagentur Novosti, Mosca (p. 24: 2)
Rau, U., Berlino (p. 233 in basso)
Reinartz, D., Buxtehude (p. 25: 4)
Rodermeier, H., Colonia (p. 295)
Sáros(p. 25: 1)
Scheffler, G., Francoforte (p. 178)
Schenkirz, R., Leonberg (p. 30)
Schloffer, G., Herrsching (p. 32)
Schweitzer, R., Parigi, F (p. 17: 2; p. 18: 4; p. 20: 1; p. 21: 4; p. 22; p. 23: 1, 2, 4-8; p. 24: 1 ; p. 27: 1, 3; p. 31: 1, 3)
Spiluttini, M., Vienna, A (p. 339)
Spitta, W., Zeitlarn (p. 313)
Streib, M., Monaco (p. 31:2)
Studio Sfriso, Camucia di Cortona, I (p. 228)
Traskelin, R., Helsinki, SF (p. 14; 15: 2; p. 16: 2)
Van der Vlugt & Claus, Amsterdam (p. 25: 2)
Wilkhan, Bad Munder (p. 263 in basso)

Indice dei nomi

Architetti, ingegneri strutturisti

Indice analitico